

Menschliche Faktoren bei der Entwicklung von automatisierten Fahrfunktionen

16. Symposium „Reifen und Fahrwerk“

**Assoc.-Prof. Dr. Arno Eichberger,
Dr. Ioana Koglbauer,
Dr. Cornelia Lex,
Sadegh Arefnezhad
Institut für Fahrzeugtechnik Graz**

27.03.2019

Agenda

- Treiber und Problemstellungen des automatisierten Fahrens
- Die Mensch-Maschine-Interaktion in der Fahrzeug-Automatisierung
- Entwicklungsmethoden der Mensch-Maschine-Interaktion
- Fahrsimulator **ADSG** (Automated Driving Simulator Graz)
- Exemplarische Projekte des Instituts für Fahrzeugtechnik Graz
- Zusammenfassung

Treiber für automatisiertes Fahren

- **Sicherheit**
 - EU White Paper: Halbierung Unfalltote bis 2020, Zero Vision 2050
 - Euro NCAP Roadmap
- **Komfort**
 - Entlastung des Fahrers/ Ageing Society/Handicapped people
 - Connectivity
- **Umwelt**
 - Verbesserung Verkehrsfluss
 - Optimierung Energieverbrauch
- **Neue Mobilität**
 - Multi-modale Verkehrssysteme
 - Car-Hailing und -Sharing
- **Neue Geschäftsmodelle der OEMS**

Problemstellungen und Randbedingungen

- Perzeption (Wahrnehmung der Fahrumgebung durch Sensorik)
- Funktionsabsicherung (ca. 1 Fatalität auf 100 Millionen km)
- Rechtliche und Haftungsfragen
- Kosten der Systemkomponenten und Integration
- Komplexität der Verkehrssituation, Umweltbedingungen
- (Bei-) Fahrerakzeptanz
- Manipulation, Mis-Use
- Interaktionen im gemischten Verkehr
- Ironie der Automatisierung
- Automation Supprises
- ...

Problemstellungen und Randbedingungen

- Perzeption (Wahrnehmung der Fahrumgebung durch Sensorik)
- Funktionsabsicherung (ca. 1 Fatalität auf 100 Millionen km)
- Rechtliche und Haftungsfragen
- Kosten der Systemkomponenten und Integration
- Komplexität der Verkehrssituation, Umweltbedingungen
- (Bei-) Fahrerakzeptanz
- Manipulation, Mis-Use
- Interaktionen im gemischten Verkehr
- Ironie der Automatisierung
- Automation Suprises
- ...

**→ Sorgfältige Gestaltung und Absicherung der
Mensch-Maschine-Interaktion**

SAE Stufen der Automatisierung

Level	Name	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability	Examples
0	No automation	Human Driver	Human Driver	Human Driver	n/a	n/a
1	Driver assistance	Human Driver and system	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	ADAS available (ACC, LKA, ...)
2	Partial automation	System	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	Highway Assist (ACC + LKA)
3	Conditional automation	System	System	Human Driver	Some driving modes	Highway Chauffeur
4	High automation	System	System	System	Some driving modes	Highway Pilot
5	Full automation	System	System	System	All driving modes	Automatic Taxi

SAE Stufen 0-3

Level	Name	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability	Examples
0	No automation	Human Driver	Human Driver	Human Driver	n/a	n/a
1	Driver assistance	Human Driver and system	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	ADAS available (ACC, LKA, ...)
2	Partial automation	System	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	Highway Assist (ACC + LKA)
3	Conditional automation	System	System	Human Driver	Some driving modes	Highway Chauffeur
4	High automation	System	System	System	Some driving modes	Highway Pilot
5	Full automation	System	System	System	All driving modes	Automatic Taxi

Mensch-Maschine-Interaktion als „Fahrer“

- Design der Anzeige- und Bedienungselemente
- Ablenkung
- Objektive Bewertung von Sicherheit, Vertrauen, Akzeptanz, Komfort
- Design der **Übernahmestrategie** (Level 3)

SAE Stufen 4-5

Level	Name	Execution of steering and acceleration/deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability	Examples
0	No automation	Human Driver	Human Driver	Human Driver	n/a	n/a
1	Driver assistance	Human Driver and system	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	ADAS available (ACC, LKA, ...)
2	Partial automation	System	Human Driver	Human Driver	Some driving modes	Highway Assist (ACC + LKA)
3	Conditional automation	System	System	Human Driver	Some driving modes	Highway Chauffeur
4	High automation	System	System	System	Some driving modes	Highway Pilot
5	Full automation	System	System	System	All driving modes	Automatic Taxi

Mensch-Maschine-Interaktion als „Beifahrer“:

- Objektive Bewertung von Sicherheit, Vertrauen, Akzeptanz, Komfort
- Motion Sickness

Internationale rechtliche Rahmenbedingungen

- **Wiener Konvention** von 1968 wurde per 23.03.2016 novelliert und stellt für automatisierte Fahrzeuge keine Hürde dar (sofern vom Fahrzeugführer übersteuerbar/deaktivierbar)
- Fahrzeugteileübereinkommen, ECE Regeln
- Jedoch: Übersteuerbarkeit durch Fahrzeugführer
- Lenker und Steuervorrichtung müssen gegeben sein

→ **de facto SAE Level 0-3**

Deutschland, rechtliche Rahmenbedingungen

Straßenverkehrsgesetz (StVG) ergänzt,
Kraftfahrzeuge mit automatisierten Systemen (hoch- oder vollautomatisiert) zulässig

- Fahrzeugführer darf sich abwenden, jedoch „**wahrnehmungsbereit**“
- Fahraufgabe in bestimmten Situationen aktivierbar
- STVO Konformität
- Vom Fahrzeugführer übersteuerbar / deaktivierbar
- Übernahme muss vom Fahrzeugführer erkennbar, auch aufgrund „**offensichtlicher Umstände**“
- Übernahme muss mit „**ausreichender Zeitreserve**“ vom Fahrzeug angezeigt werden
- Black box zur Datenspeicherung (Unfallrekonstruktion)

→ **de facto SAE Level 0-3**

Österreich, rechtliche Rahmenbedingungen

[BGBl. II Nr. 402/2016](#), 21.3.2019

§ 10 Einparkhilfe,

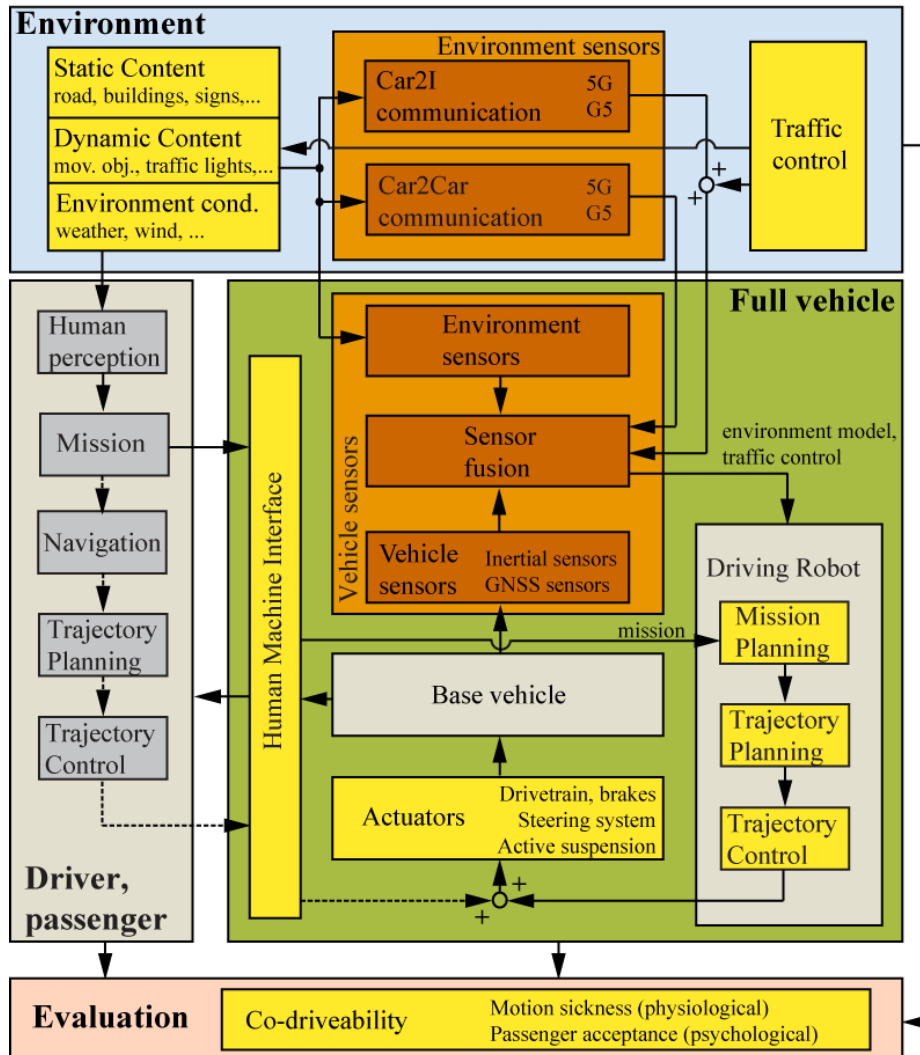
nach ECE 79 bis 10 km/h, Fahrer nicht unbedingt am Fahrerplatz aber überwachend

§ 11 Autobahn-Assistent mit automatischer Spurhaltung,

ACC+LKA, keine Fahrstreifenwechsel, keine Auf- und Abfahrten, keine Baustellen, Hands-Off zulässig

→ de facto SAE Level 0-3

Gesamtsystem Mensch-Fahrzeug-Umwelt



Die Entwicklung und Absicherung von automatisierten Fahrfunktionen erfordert die **gesamtheitliche Betrachtung** des Gesamtsystem und erfordert **interdisziplinäre Zusammenarbeit**

Quelle: Eichberger, TU Graz

Untersuchung der Mensch-Maschine-Interaktion

- **Realversuch**

- + Realismus

- Kosten, Zeitaufwand, Wiederholbarkeit, keine kritische Situationen

- **Fahr Simulator**

- + Statistische Aussagekraft, Wiederholbarkeit, kritische Situationen

- o Kosten, Zeitaufwand

- Realismus, Simulatorkrankheit

- **Virtuelle Simulation**

- + Statistische Aussagekraft, Wiederholbarkeit, kritische Situationen

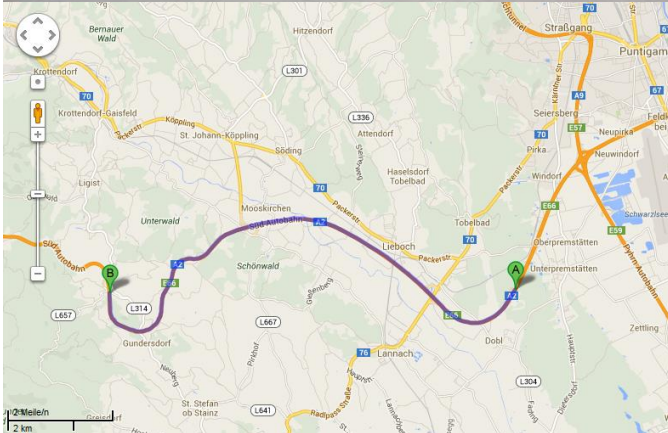
- + Kosten, Zeitaufwand

- Realismus

- Ausreichende Fahrermodelle (Psychologie, Physiologie!) und Bewertungsverfahren

Realversuche

ACC- Versuche



AEB- Versuche



Quelle: Eichberger, A.; Lex, C.; Bliem, N.; Sternat, A. S.; Koglbauer, I.; Schinko, C.; Battel, M.; Holzinger, J.: Bewertung von Fahrerassistenzsystemen von Normalfahrerinnen und Normalfahrern im Realversuch. - in: 4. Jahrestagung der GMTTB (Gesellschaft für Medizinisch Technische Traumbiomechanik) (2014), S. 1 – 32

ACC Versuche



Quelle: TU Graz, FTG

Ausführungsformen von Fahrtrainern

	Sitzkiste	Kabine	Vollfahrzeug
Fixed Base			
Motion Base (verschiedene Freiheitsgrade)			

Quellen:

<http://safetycenter.org/teen-safety/focusimulator/>

<http://www.fahrtrainern.eu/de/lkw-simulatoren/bauformen>

<https://www.tugraz.at/forschung/forschungsschwerpunkte-5-fields-of-expertise/mobility-production/automatisiertes-fahren/>

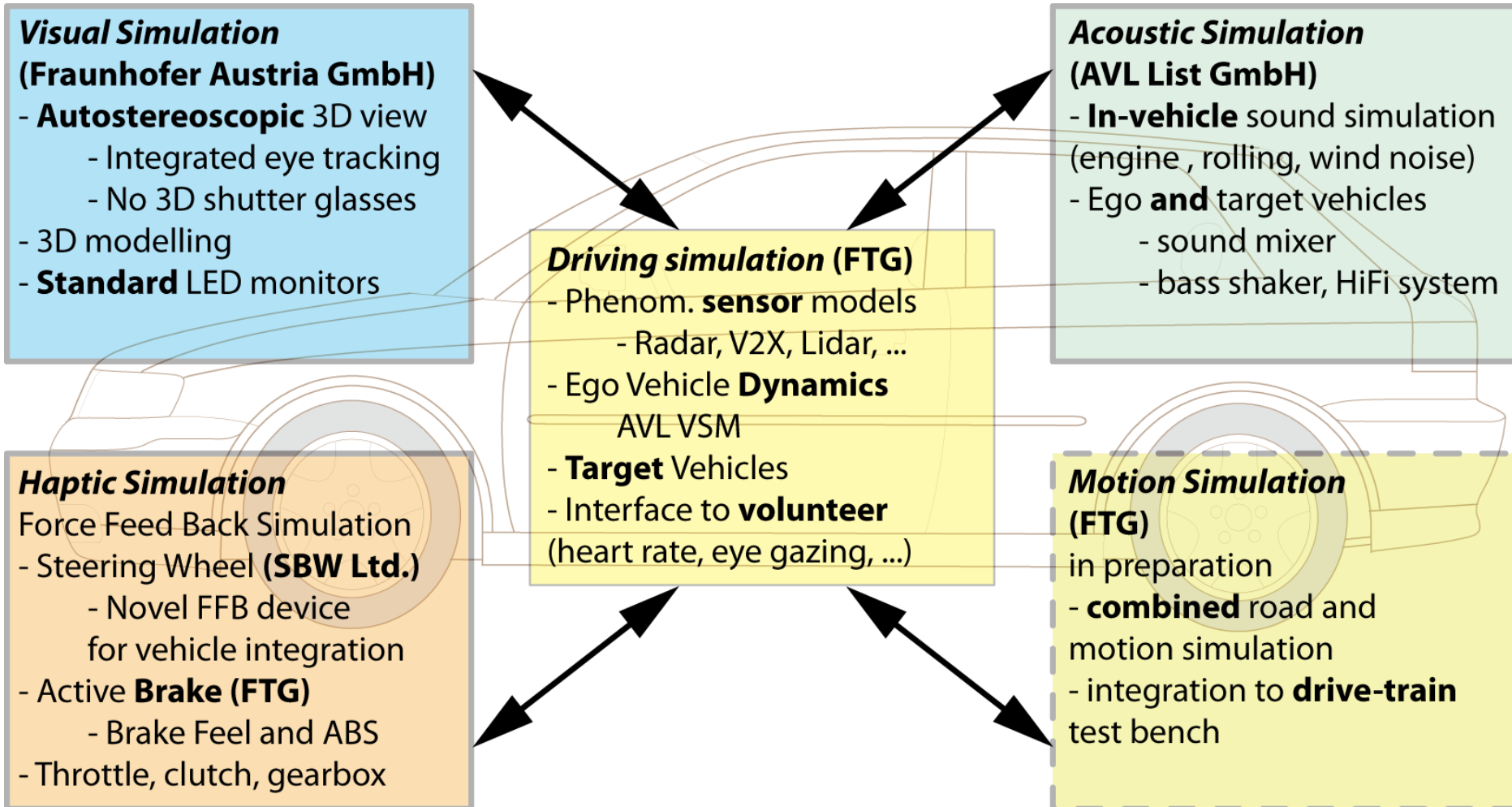
[http://www.bertrandt.com/fileadmin/data/downloads/02_Presse/03_Fachartikel/2014-09_OEM-](http://www.bertrandt.com/fileadmin/data/downloads/02_Presse/03_Fachartikel/2014-09_OEM-Lieferant_Bertrandt_Innovation_Fahrdynamiksimulator.pdf)

[Lieferant_Bertrandt_Innovation_Fahrdynamiksimulator.pdf](http://www.bertrandt.com/fileadmin/data/downloads/02_Presse/03_Fachartikel/2014-09_OEM-Lieferant_Bertrandt_Innovation_Fahrdynamiksimulator.pdf)

<http://www.vi-grade.com/index.php?pagid=drivesim>

http://www.transportationtechnologyventures.com/simwiki/index.php?title=Other_Simulators#Toyota_.28Japan.29

Modulare Architektur AD SG



Quelle: TU Graz, FTG

ADSG

ADAS Driving Simulator Graz



Quelle: TU Graz, FTG

Forschungsprojekte des FTG bei Mensch-Maschine-Interaktion

- **MueGen Driving (FFG):**
Geschlechter-, alters- und straßenzustandspezifische Parameter hinsichtlich Vertrauen, Akzeptanz, Sicherheit, Komfort bei ACC und AEB
- **RENNT (Industriepartner, FFG):**
Gestaltung des Annäherungsbereiches einer Autobahnmautstation zur Optimierung der Abwicklung des Bezahlvorganges
- **VEGAS (FFG):**
Interaktion zwischen automatisierten und manuell geführten Fahrzeugen im Mischverkehr
- **IAFA (Industrierauftrag):**
Vertrauen, Akzeptanz, Sicherheit, Komfort von FahrerInnen beim vollautomatisierten Fahrstreifenwechsel
- **IMPMOD (BMVIT):**
Wahrnehmung von motorisierten Zweirädern durch PKW Lenker
- **WachSens (FFG):** Zuverlässige und vorrausagende
Fahrerzustandsüberwachung durch Kombination von Fahrzeug- und Biosignalen

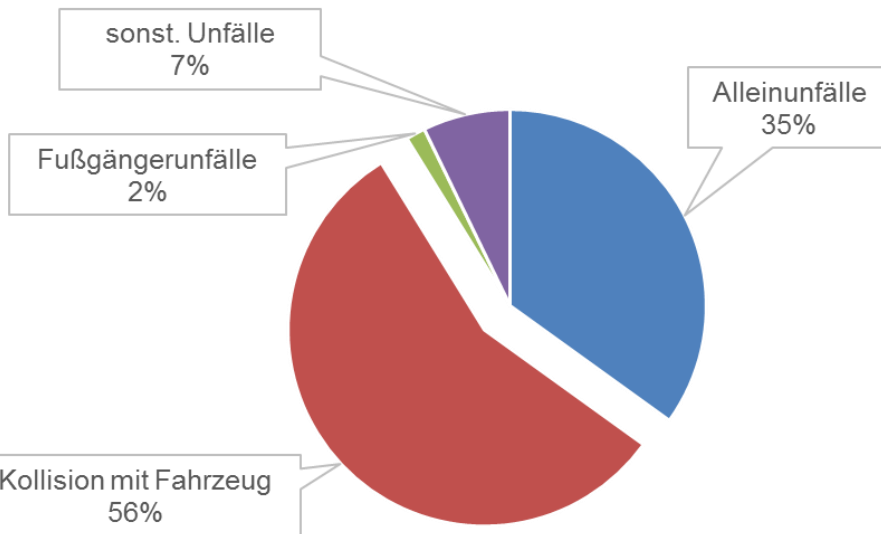
Forschungsprojekte des FTG bei Mensch-Maschine-Interaktion

- MueGen Driving (FFG):
Geschlechter-, alters- und straßenzustandspezifische Parameter hinsichtlich Vertrauen, Akzeptanz, Sicherheit, Komfort bei ACC und AEB
- RENNT (Industriepartner, FFG):
Gestaltung des Annäherungsbereiches einer Autobahnmautstation zur Optimierung der Abwicklung des Bezahlvorganges
- VEGAS (FFG):
Interaktion zwischen automatisierten und manuell geführten Fahrzeugen im Mischverkehr
- IAFA (Industrierauftrag):
Vertrauen, Akzeptanz, Sicherheit, Komfort von FahrerInnen beim vollautomatisierten Fahrstreifenwechsel
- IMPMOD (BMVIT):
Wahrnehmung von motorisierten Zweirädern durch PKW Lenker
- WachSens (FFG): Zuverlässige und vorrausagende
Fahrerzustandsüberwachung durch Kombination von Fahrzeug- und Biosignalen

Forschungsprojekt IMPMOD

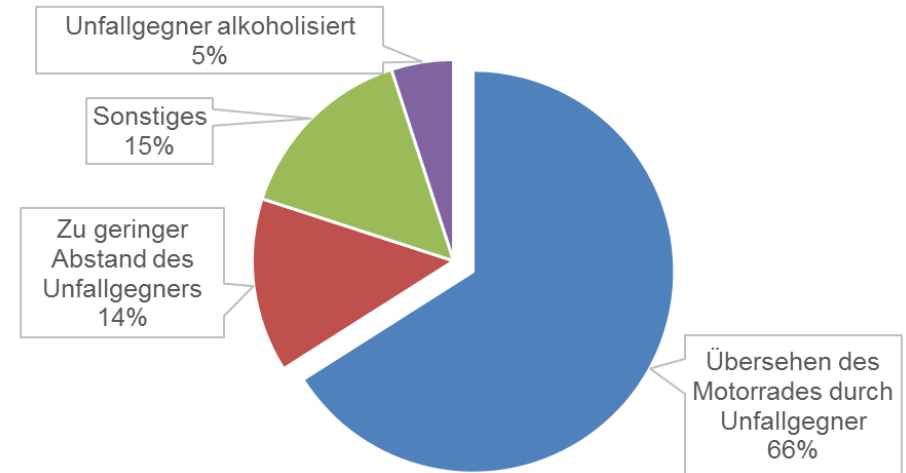
(Improved Perception of Motorcycle by Driving Simulator based Driving Education)

Ca. 40% aller schweren Motorradunfälle werden durch Übersehen des Motorrades durch einen PKW Lenker verursacht



Unfalltyp

Quelle: ÖAMTC Unfallforschung, 2016



Unfallursache bei Unfalltyp „Kollision“

Quelle: Bartl, H. U. (2009). Unfallursachenanalyse von Zweiradfahrern. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Forschungsprojekt IMPMOD, Forschungsfragen

Ziel: Verbesserung der Motorradsicherheit im häufigen Unfalltyp
„Kollision mit einem PKW (Verursacher PKW Lenker)“

- Kann durch Training im **Fahrsimulator** die Sensibilität des/der PKW LenkerIn auf die eingeschränkte Wahrnehmbarkeit des Zweirades im Zuge der **Fahrausbildung** gesteigert werden?
- Kann durch **multimodale Warnstrategien** im PKW eine verbesserte Wahrnehmung des Zweirades erreicht werden?

Aufbau von Stadt und Überlandschaften mit kritischen Situationen aus der Unfallforschung und Implementierung in Fahrsimulator



Quelle: TU Graz, FTG

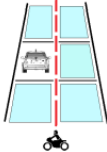
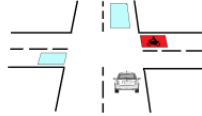
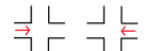
Beispiele für innerstädtische Kreuzungssituation

Quelle: TU Graz, FTG



Entwicklung multimodaler Warnstrategie und Implementierung

- Definition einer Kombination aus visueller, akustischer und haptischer Warnung, abgestimmt auf die jeweilige kritische Situation
 - Visuell: Anzeigeelement und Head-Up-Display
 - Akustik: Warnton
 - (Haptik: Lenkradvibration)

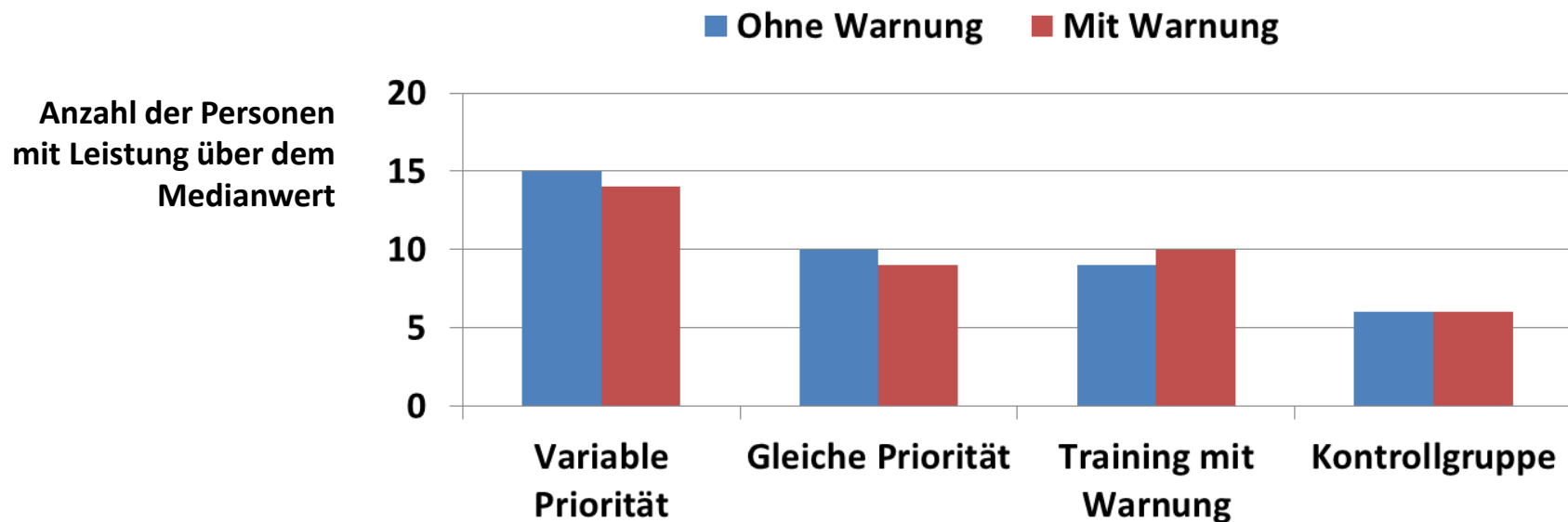
WARNING SITUATIONS	RESPONSE			TIMING FOR THE WARNINGS
	VISUAL	ACOUSTIC	HAPTIC	
LANE FILTERING	The lines separating the car lanes in the screen turn red and twinkle. Motorcycle symbol below it. 		Vibration of the steering wheel	2.5 s
BLIND SPOT AND OVERTAKING	Square symbolizing the motorcycle in the screen turns red 	Warning tone: beep-beep	Vibration of the steering wheel	
INTERSECTION	The intersection is drawn in the screen and the motorcycle in danger is represented as a red square.  Warning symbol appears in the HUD. 	Warning tone: beep-beep	Vibration of the steering wheel	
DOORING	The LED bars implemented in the door, in the corner with the dashboard, turn red.	Warning tone: beep-beep		

Quelle: TU Graz, FTG

Motorraderkennung Landstraße mit schwachem Kontrast

Signifikante Unterschiede beim Test ohne Warnung ($df=3$, $Med=51,54$, $\chi^2=8,40$, $p < .04$)

Signifikante Unterschiede beim Test mit Warnung ($df=3$, $Med=51,87$, $\chi^2=7,65$, $p < .05$)



Quelle: TU Graz, FTG

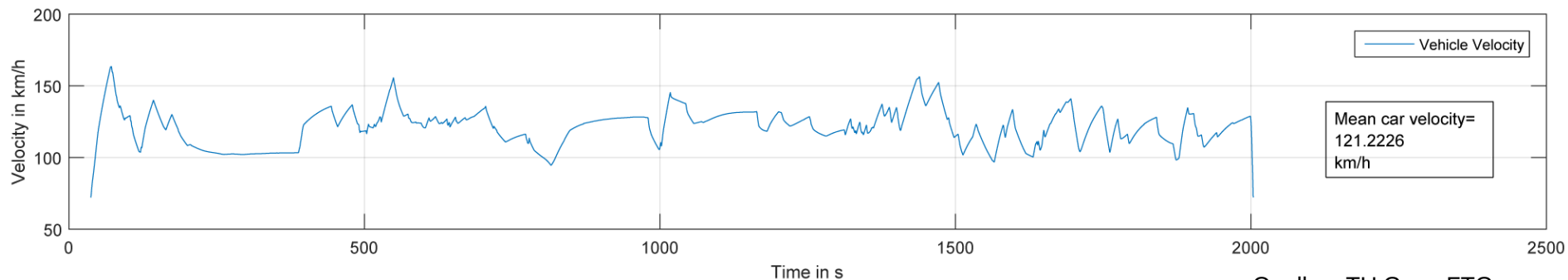
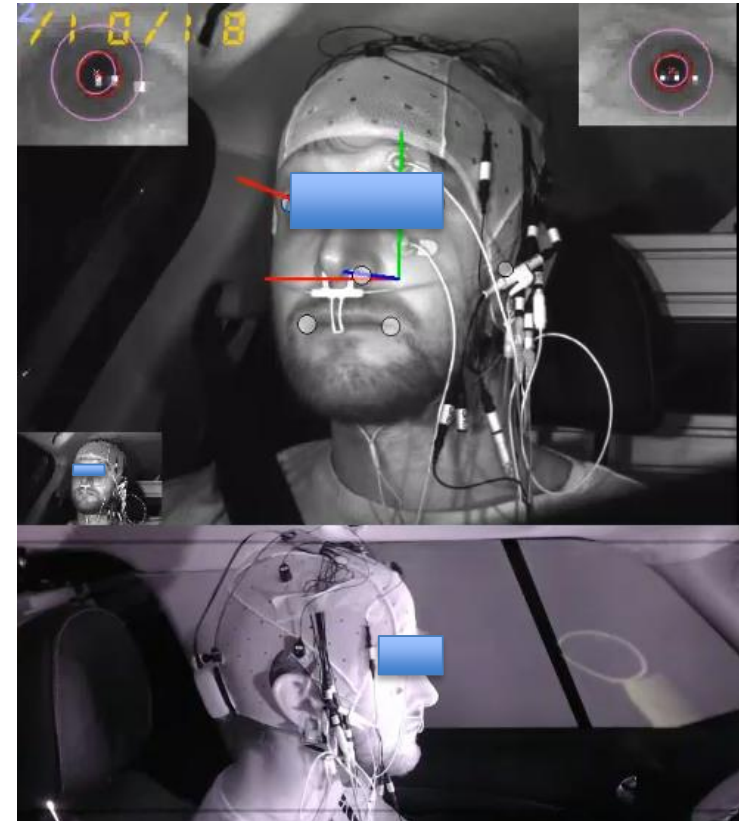
Forschungsprojekt WachSens

Ziel: System von Sensoren, Algorithmen und Klassifikatoren, das früher und zuverlässiger als bestehende Systeme die **Vigilanz** von LenkerInnen charakterisiert für späteres Design von **Übernahmefähigkeit** mit „**ausreichender Zeitreserve**“

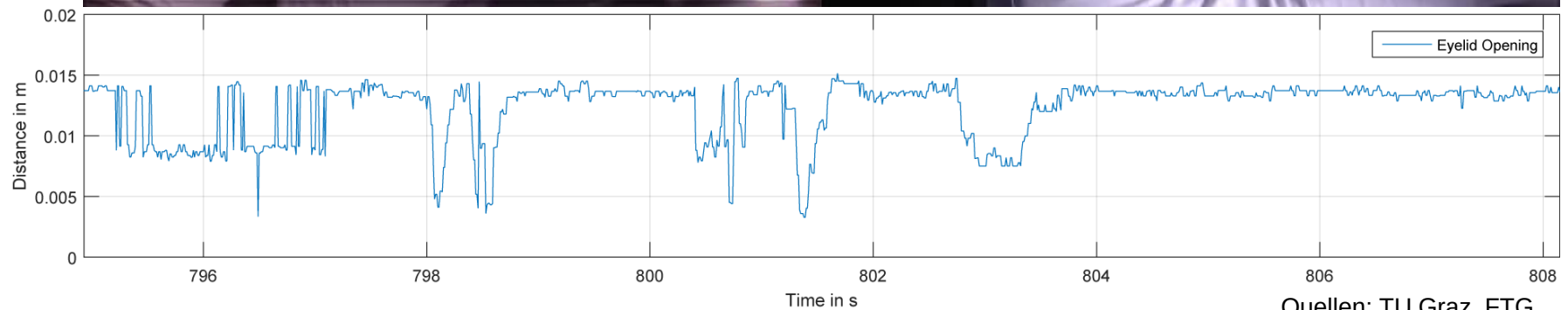
- **Fusion** vegetativer Vigilanz, der Kamerabeobachtung und des Fahrverhaltens
- Eingebettete **Sensoren** und integrierte Verarbeitung
- Änderungen des Aufmerksamkeitsverhaltens bei **automatisierten** Fahrfunktionen

Test Design

- 96 Versuchspersonen, balanciert nach Geschlecht und Alter
- Mehrmaliges Befahren einer Autobahn bei Nacht
 - Ausgeschlafen, manuell und automatisiert
 - Schlafentzug, manuell und automatisiert
- Ca. 100 Messkanäle
 - Fahrer: EKG, EEG, Hautwiderstand, Augenmuskelaktivität, Atemfrequenz, Lidschlag, Pupillendurchmesser, Blickverhalten
 - Fahrzeug: Geschwindigkeit, Lenkbewegungen, spurtreue, Beschleunigungen, ...



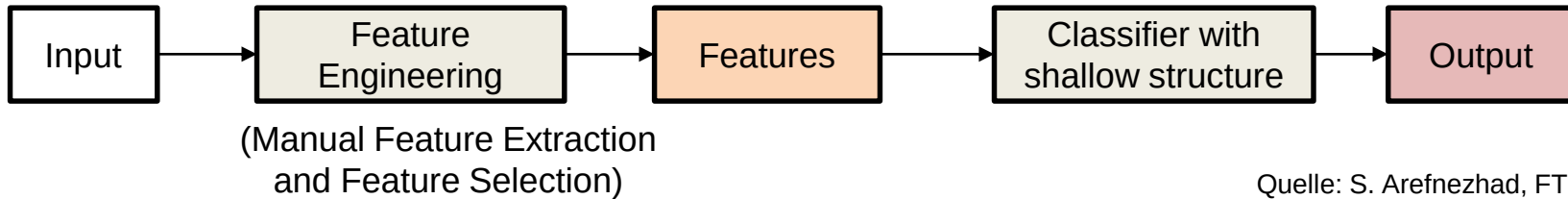
Quellen: TU Graz, FTG



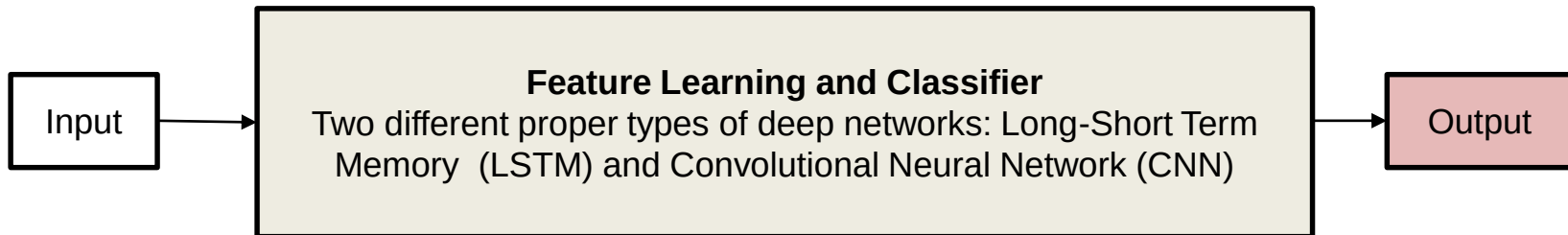
Quellen: TU Graz, FTG

KI Methoden zur Müdigkeitsklassifizierung

• Machine Learning

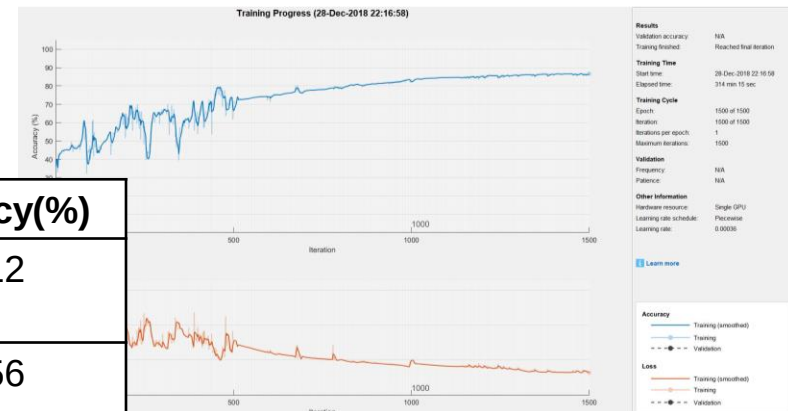


• Deep Learning



End-to-End Learning

	Accuracy(%)
Train data	86.12
Test data	80.56

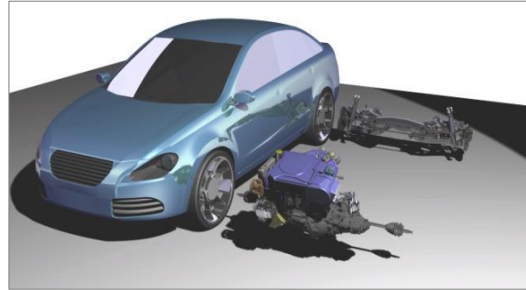


Quelle: TU Graz, FTG

Zusammenfassung

- Technische Machbarkeit von Level 4-5 Fahrzeuge durch zahlreiche erfolgreiche Demonstratoren nachgewiesen (Bertha Benz Gedächtnisfahrt, Waymo,...) jedoch mit **Sicherheitsfahrern**
- Rechtliche Rahmenbedingungen in Europa lassen in absehbarer Zeit **nur Level 3** und etwas **später Level 4** Fahrzeuge erwarten
- Die Entwicklung und funktionale Absicherung der Mensch-Maschine-Interaktion findet derzeit im Wesentlichen im **Fahrversuch** und im **Fahrsimulator** statt
- Mensch-Maschine-Interaktion ist **komplex** und bedarf neuer Entwicklungsmethoden (virtuelle Bewertung) und **interdisziplinäre** Entwicklungsteams

Thank you for your
attention!



Graz University of Technology
Institute of Automotive Engineering

Assoc.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Arno Eichberger

Forschungsbereich Vehicle Dynamics

Inffeldgasse 11, 8010 Graz

+43 316-873-35210

+43 316-873-35202

arno.eichberger@tugraz.at

<http://www.ftg.tugraz.at>

Danksagung

- **MueGen Driving** ist ein FEMtech Forschungsprojekt gefördert aus dem Talentprogramm der www.ffg.at, unter Unterstützung des bmvit
- Das Forschungsprojekt **IMPMOD** wurde aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds (VSF) gefördert. <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/sicherheit/fonds/index.html>
- **WachSens** ist ein Forschungsprojekt gefördert aus dem Programm „Mobilität der Zukunft“ der www.ffg.at, unter Unterstützung des bmvit