

# Realversuch zur Evaluierung vorausschauender Assistenz

Florian Laquai, Emil Drefers, Qing Zhou

3. Mai 2013



MMK  
Lehrstuhl für  
Mensch-Maschine-Kommunikation

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>3</b>
1.1	Relevante Verkehrssituationen . . . . .	3
1.2	Assistenzfunktion . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Fragestellungen</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>13</b>
3.1	Aufbau im Versuchsträger . . . . .	13
3.2	Versuchsstrecke . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>17</b>
4.1	Vorbereitung . . . . .	17
4.2	Probanden . . . . .	18
4.3	Ablauf . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>21</b>
5.1	Datenaufbereitung . . . . .	21
5.2	Fahrdynamik . . . . .	22
5.3	Fragebögen . . . . .	25
5.4	Zusammenfassung . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>31</b>
6.1	Auswertung der Fahrdynamikdaten . . . . .	31
6.2	Fragebogen . . . . .	39
6.3	Matlab Datenauswertung . . . . .	43



# 1 Hintergrund

Der vorgestellte Versuch basiert auf vorangegangener Forschungsarbeit im Kooperationsprojekt ISPA (Intelligent Support for Prospective Action) zwischen der BMW Forschung und Technik GmbH, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (TUM), Lehrstuhl für Ergonomie (TUM), Fachgebiet Augmented Reality (TUM) und dem Lehrstuhl für Angewandte Psychologie (Universität Regensburg). Gegenstand des Projekts war es ein Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung vorausschauender Fahrweise auf Basis von Car2X Communication zu entwickeln. Es wurde davon ausgegangen, dass entweder durch das Ego - Fahrzeug selbst oder von einer Verkehrsleitzentrale über Car2Infrastructure Communication die Information erzeugt wird, dass ein Hindernis vorhanden ist.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die im ISPA Projekt getesteten Situationen und anschließend die Funktion der Assistenz vorgestellt.

## 1.1 Relevante Verkehrssituationen

Einige der im ISPA Projekt ursprünglich erstellten Situationen sind für Nutzfahrzeuge nicht relevant oder wurden von Probanden in vorangegangenen Versuchen als nicht sinnvoll eingestuft, speziell Assistenz im Stadtverkehr. Allenfalls eine Assistenz bei der Anfahrt an Ampelanlagen wäre für die Stadt sinnvoll, was jedoch im hier beschriebenen Versuch nicht abgebildet wird.

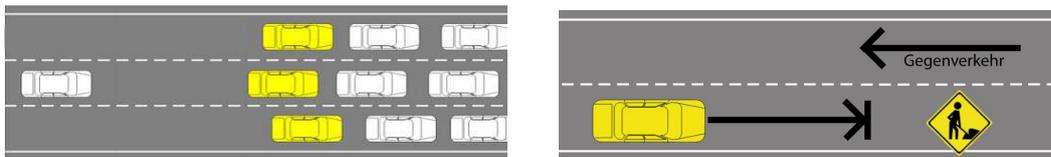


Abbildung 1: Situationen: Stau und blockierte Spur / Fahrbahnverengung

Auf Autobahnen und Landstraßen könnte die Auffahrt auf eine soeben entstandene Behinderung, beispielsweise ein Stauende oder eine Wanderbaustelle (siehe Abb. 1 links) ebenso wie statische Hindernisse wie z.B. Fahrbahnverengungen (siehe Abb. 1 rechts) eine sehr relevante Situation sein.

Für diesen Versuch wurde bedingt durch die örtlichen Gegebenheiten auf der Versuchsstrecke die Heranfahrt an ein stehendes Hindernis simuliert, das durch seine Lage in einer Kurve mit Bewuchs auf der Innenseite erst sehr spät gesehen werden kann.

## 1.2 Assistenzfunktion

Das ISPA - System soll vor allem zur Unterstützung vorausschauender Verzögerung dienen. Dabei wird dem Fahrer der nötige Zeitpunkt, die erforderliche Stärke und der Grund für die nötige Verzögerung ausgegeben. Die ersten beiden Informationen sind

grundsätzlich für eine angemessene Reaktion des Fahrers nötig, der Grund für die Assistenzaktivierung dient vor allem der Steigerung der Nutzerakzeptanz. Durch die Angabe des Verzögerungsgrundes kann ein mit dem System unerfahrener Fahrer selbst die korrekte und sinnvolle Funktion des Systems überprüfen und kann somit über die Zeit Vertrauen gewinnen.

Prinzipiell besteht das System einerseits aus einer Logikeinheit, die die Daten aus der Car2X Communication und Ego - Fahrzeug verarbeitet und einer User Interface Einheit, die die Ausgabe des Logikblocks an den Fahrer kommuniziert.



Abbildung 2: Blockschaltbild des ISPA Systems

Aktuelle Assistenz- und Informationssysteme greifen entweder auf „langsame“ Datenquellen wie z.B. TMC zurück, die eine Verzögerung der Informationserfassung und Weiterleitung von mehreren Minuten haben können, oder auf fahrzeugeigene Sensoren zur Umfelderkennung mit niedrigen Latenzen und hohen Aktualisierungsraten. Zwischen diesen beiden Quellentypen besteht daher ein Zeitbereich von mehreren Sekunden bis hin zu Minuten, der momentan noch nicht abgedeckt wird. Kommende Technologien die unter dem Begriff Car2X zusammengefasst werden, könnten diese Lücke schließen und daher neue Möglichkeiten zur Fahrerassistenz bieten wie in Abb. 3 zu sehen ist.

**Logik** Die Logikeinheit nutzt die Position und Geschwindigkeit von bevorstehenden Hindernissen, um daraus die Relativgeschwindigkeit und den Abstand zum Ego - Fahrzeug zu berechnen. Aus dieser Information werden drei Abstände berechnet, die zu folgenden Verzögerungsstrategien gehören:

- Ausrollen mit eingelegtem Gang (Fuß vom Gaspedal nehmen, „Coasting“)
- Komfortverzögerung mit -0.2g (Bremsen, „Comfort Deceleration“)
- Starke Verzögerung mit -0.4g (Bremsen, „Strong Deceleration“)

Sobald einer dieser Abstände unterschritten wird, wird eine Ausgabe an den Fahrer initiiert mit dem zugehörigen Verzögerungsvorschlag. Die Abstände für die beiden Verzögerungsstrategien, bei denen die Bremse eingesetzt wird, werden nach den bekannten Bewegungsgleichungen wie in Abb. 4 berechnet, die benutzten Variablen sind in Abb. 5 erklärt. Dabei wurde eine durchschnittliche Reaktionszeit  $t_{react} = 1,5s$  gewählt.

Um den Aktivierungsabstand für den Coasting - Modus zu berechnen muss zumindest ein grobes Modell der Verzögerung durch das Motorschleppmoment bei verschiedenen eingelegten Gängen und Geschwindigkeiten vorliegen. Hierzu wurden auf der

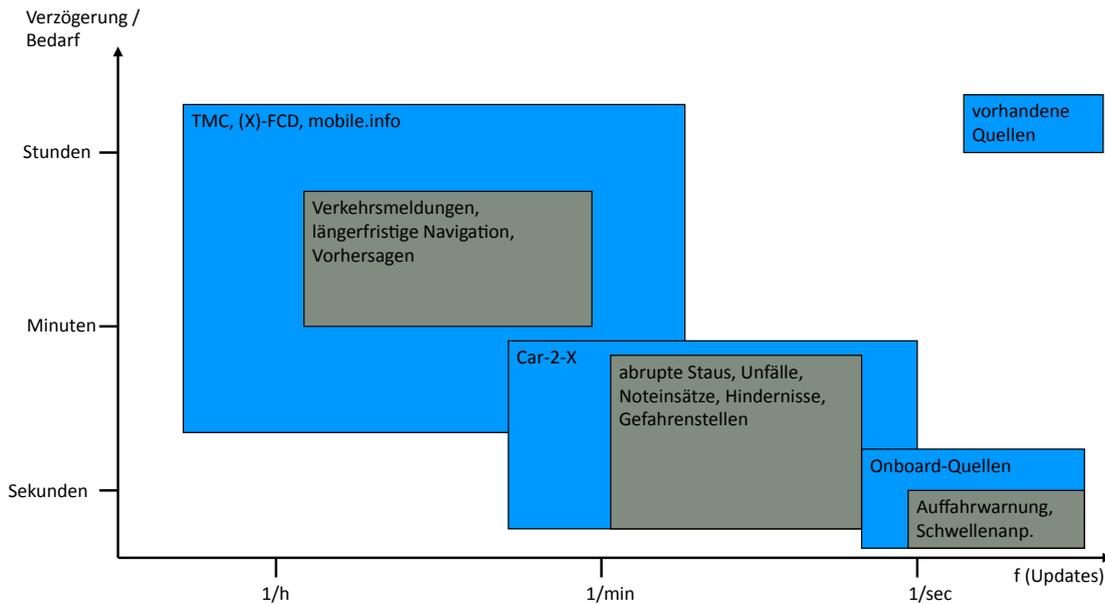


Abbildung 3: Aktuelle und zukünftige Datenquellen für Fahrerassistenz- und Informationssysteme

MAN - Versuchsstrecke mehrere Messfahrten durchgeführt, in denen jeweils auf ca.  $89 \frac{km}{h}$  beschleunigt wurde und dann in den Gängen 8 bis 5 ausgerollt wurde. Die zugehörigen Geschwindigkeitsverläufe wurden auf den Bereich zugeschnitten, ab welchem das Gaspedal vollständig in Ausgangsstellung war und die Bremse noch nicht betätigt wurde. In diesem Bereich wurde durch lineare Regression eine analytische Beschreibung des Geschwindigkeitsabbaus für jeden Gang ermittelt. Die resultierenden Koeffizienten zur Gleichung  $v(t) = a \cdot t + v_0$  sind in Tab. 1 zu finden. Trotz der sehr einfachen linearen Modellierung der Verzögerung durch das Motorschleppmoment hat sich später im Versuch eine mehr als ausreichende Genauigkeit bei der Verzögerungsvorgabe für den Fahrer ergeben.

Gang	$a$ in $\frac{m}{s^2}$	$v_0$
5	-0,570432	12,207668
6	-0,559708	19,310903
7	-0,561095	24,359081
8	-0,447859	26,933176

Tabelle 1: Parameter für lineare Annäherung des Geschwindigkeitsabbaus durch Motorschleppmoment

Ein Zustandsübergangsdiagramm ist in Abb. 7 dargestellt. Es wurde eine Hysterese zum Umschalten zwischen den Zuständen eingesetzt mit einer Größe von  $d_{hysterese} = 20m$ . Die Hysterese dient dazu hochfrequente Sprünge zwischen den Zuständen, die

$$t_{decel} = \frac{\Delta v}{\Delta a} \quad (1)$$

$$d_{react} = \Delta v \cdot t_{react} \quad (2)$$

$$d_{brake} = t_{decel} \cdot \Delta v + \frac{1}{2} \cdot \Delta a \cdot t_{decel}^2 \quad (3)$$

$$d_{decel} = d_{react} + d_{brake} \quad (4)$$

Abbildung 4: Bewegungsgleichungen für die Abstandsberechnung

$t_{react}$  : Reaktionszeit des Fahrers

$d_{react}$  : während der Reaktionszeit zurückgelegte Distanz

$t_{decel}$  : benötigte Verzögerungszeit

$d_{decel}$  : während Verzögerungszeit zurückgelegte Distanz

$d_{target}$  : Distanz zu Hindernis entlang der Strecke

$v_{ego}$  : Geschwindigkeit des Ego - Fahrzeugs

$d_{coasting}$  : Zurückzulegende Distanz mit Motorschleppmoment (Coasting)

$d_{comfort}$  : Zurückzulegende Distanz mit Komfortverzögerung

$d_{strong}$  : Zurückzulegende Distanz mit starker Verzögerung

$d_{hysteresis}$  : Hysterese bei Zustandsänderungen

$\Delta v$  /  $\Delta a$  : Relativgeschwindigkeit / -beschleunigung

Abbildung 5: Verwendete Größen in der ISPA Logiksteuerung

durch Messrauschen hervorgerufen werden, zu unterdrücken. Dieses Messrauschen wird vor allem durch die Ungenauigkeiten der GPS - Positionsbestimmung hervorgerufen. Der aktuelle Zustand wird kodiert durch eine Zahl zusammen mit dem relativen Abstand und dem Verzögerungsgrund an das User Interface weitergegeben. Im hier vorgestellten Versuch wurde immer die Situation „Stau“ ausgegeben.

**User Interface** Das User Interface besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten: einer RGB - LED Reihe und einem TFT - Display. Die LED - Reihe besteht aus drei Modulen zu je 9 RGB - LEDs, die individuell angesteuert werden können. Wie in Abb. 8 zu sehen ist, strahlen diese LEDs über die Kante in eine Acrylglascheibe ein, die auf der fahrerabgewandten Seite zur Reflexion und Diffusion weiß lackiert ist. So kann eine flächige Lichtverteilung erreicht werden, die die Blendwirkung vor allem in dunklen Umgebungen reduziert und optisch hochwertiger wirkt. Die einzelnen Module werden über einen DMX-Bus gesteuert, der ein internationaler Standard in der Beleuchtungstechnik ist. Über ein USB-Interface kann von einem Rechner auf diesen Bus zugegriffen

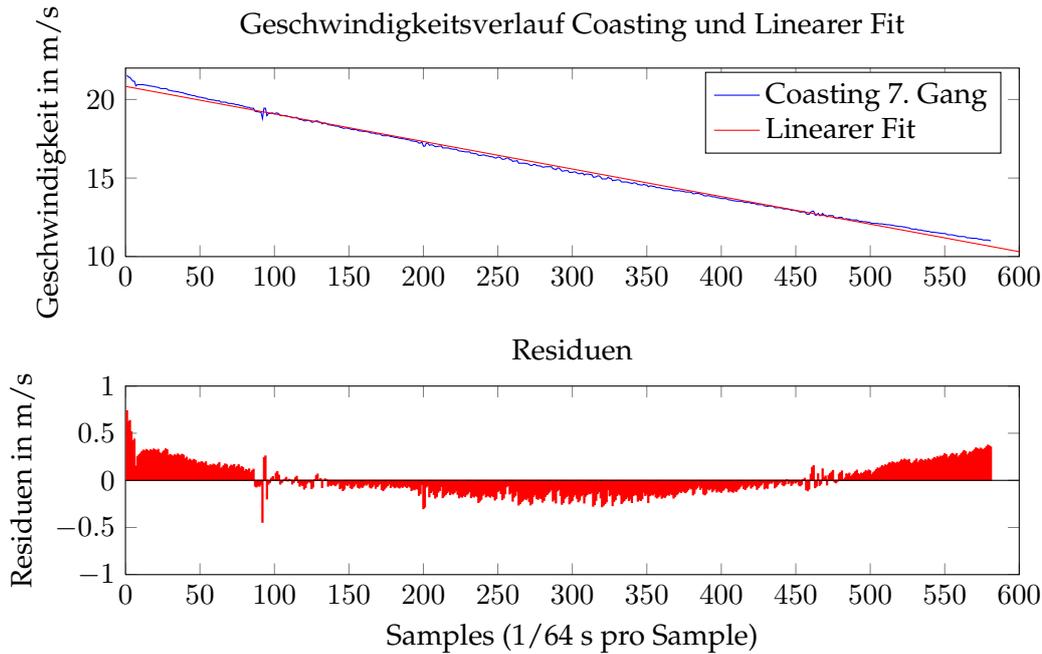


Abbildung 6: Lineare Annäherung des Geschwindigkeitsverlaufs bei Verzögerung durch das Motorschleppmoment

fen werden, wobei jede LED über 3 DMX-Kanäle mit ihren 3 Farbkanälen gesteuert wird. Bei Aktivierung des ISPA - Systems entspricht die Anzahl der leuchtenden LEDs dem Abstand zum Hindernis, wobei beim Maximalabstand für die Assistenzaktivierung nur die mittleren drei LEDs beleuchtet sind und bei Erreichen des Hindernisses die gesamte Reihe beleuchtet ist. Die Farbe der LEDs repräsentiert die vom System vorgeschlagene Verzögerung, wobei folgende Farbwerte (basierend auf vorangegangenen Nutzerbefragungen) benutzt werden:

- Coasting, Gelb: R=247, G=255, B=0
- Comfort Decel., Orange: R=255, G=105, B=0
- Strong Decel., Rot: R=255, G=0, B=0

Da die LEDs einen abweichenden Farbraum von z.B. sRGB, wie er in vielen Computerbildschirmen verwendet wird, hat (siehe Abb. 8 rechts), wurde in vorangegangenen Versuchen eine Farbkalibrierung anhand eines kalibrierten Monitors durchgeführt. Die Probanden mussten dabei die dargestellten Farben eines LED-Moduls und einer Farbfläche auf dem Monitor abgleichen. Die daraus folgende Kalibriermatrix 5 wird folgendermaßen angewandt:  $c_{LED} = M \cdot c_{sRGB}$  mit  $c_{LED}$  und  $c_{sRGB}$  als den jeweiligen

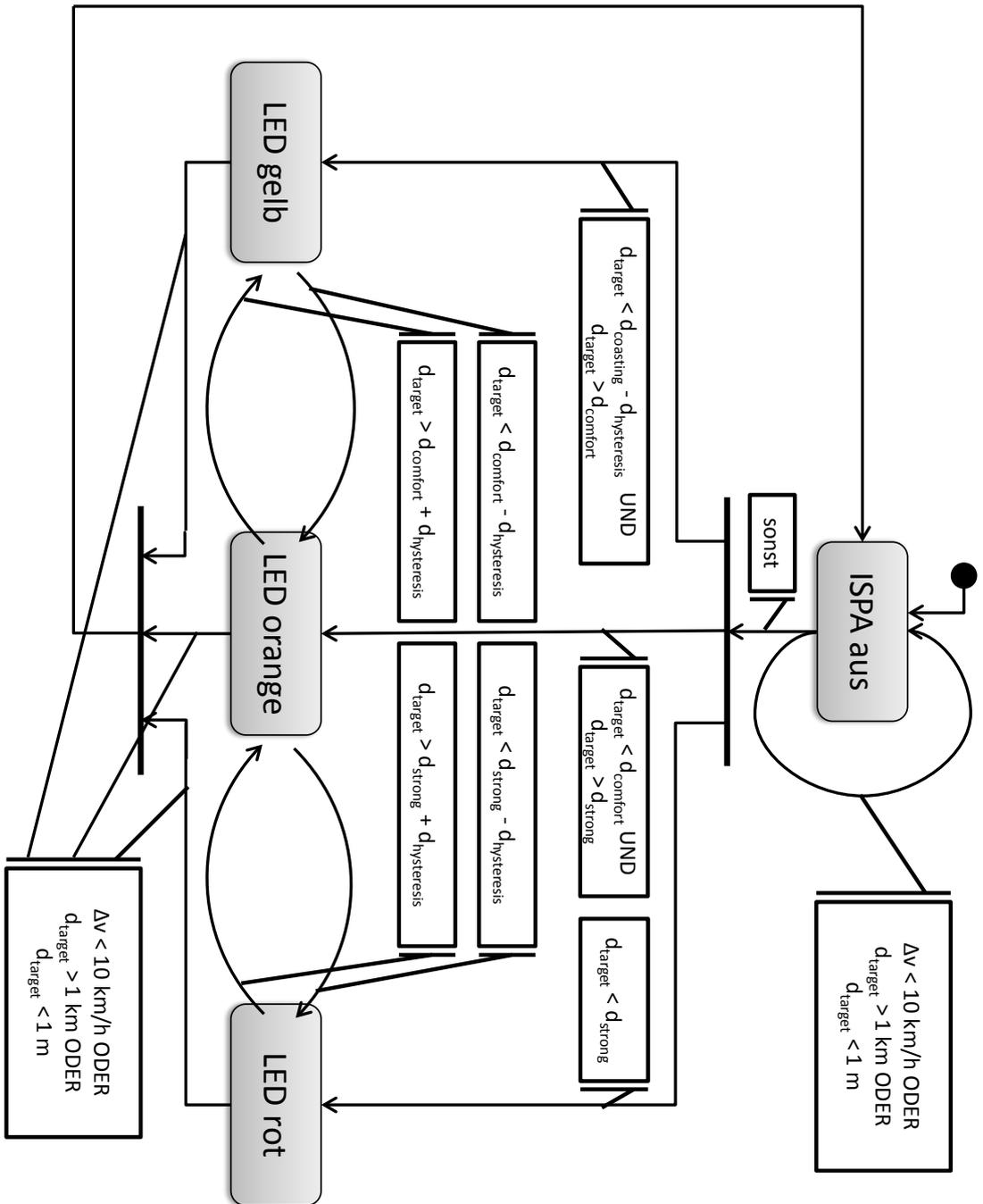


Abbildung 7: Zustandsdiagramm des ISPA Systems

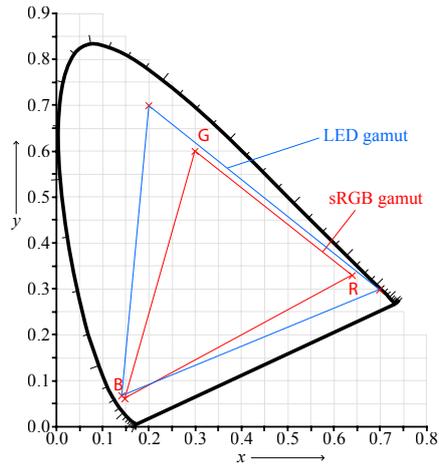
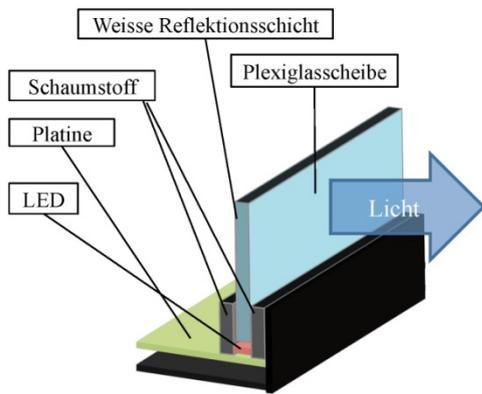


Abbildung 8: Links: Aufbau eines LED Moduls, rechts: Vergleich der Farbräume der LEDs (äußeres Dreieck) und sRGB (inneres Dreieck)

Farbvektoren im RGB-Farbraum.

$$M_{norm} = \begin{bmatrix} 1.173 & -0.123 & -0.152 \\ -0.171 & 1.246 & -0.33 \\ -0.179 & -0.187 & 1.345 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Für bestimmte Wunschfarbwerte wie z.B.  $c_{sRGB} = (255, 0, 0)^T$  würde ein Ausgabevektor für die LEDs von  $c_{LED} = (299, -44, -46)^T$  entstehen, was außerhalb des erlaubten Intervalls pro Farbkanal von  $[0...255]$  liegen würde. In diesem Fall wird die jeweilige Farbkomponente auf den nächstgelegenen gültigen Wert des Intervalls gesetzt. Weitere Informationen zum Kalibrierungsprozess können der Veröffentlichung [Laquai11-1] entnommen werden.

Zeitgleich wird im Kombiinstrument ein die Situation repräsentierendes Standard - Verkehrszeichen angezeigt, siehe Abb. 9. Daneben gibt eine Balkenanzeige Auskunft über den Abstand zum Hindernis, wobei der Balken mit abnehmendem Abstand immer voller wird. Die Balkenanzeige ändert auch ebenso wie die LEDs je nach Verzögerungsanforderung die Farbe.

Als weitere Ausgabemodalität wurde noch ein Gong gewählt, der bei erstmaligem Auslösen des ISPA - Systems für ein Hindernis abgespielt wird. Dies soll sicherstellen, dass die Assistenzausgabe auch im Falle einer optischen Ablenkung noch sicher bemerkt werden kann.

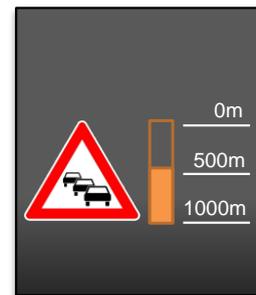


Abbildung 9: Inhalt des Kombiinstrumentes



## 2 Fragestellungen

Nach der Beschreibung des bereits aus vorangegangenen Arbeiten existierenden Assistenzsystems und der dafür relevanten Verkehrssituationen soll hier die Motivation für den durchgeführten Versuch erläutert werden.

Ein ähnlicher Versuch wurde bereits mit einer leicht unterschiedlichen Version des Assistenzsystems im Fahrsimulator des Lehrstuhls für Mensch-Maschine-Kommunikation durchgeführt. Die dem ISPA - System zugrundeliegende Logik hatte dabei die gleiche Funktion, lediglich das User Interface war so aufgebaut, dass die LED - Leiste über die gesamte Breite der Frontscheibe eines PKWs in der Aussparung für die Scheibenwischer angebracht wurden. Die Anzeige des Verkehrssymbols mit dem Abstandsbalken wurde im Head-Up Display realisiert. Eine detailliertere Systembeschreibung ist in [Laquai11] zu finden.

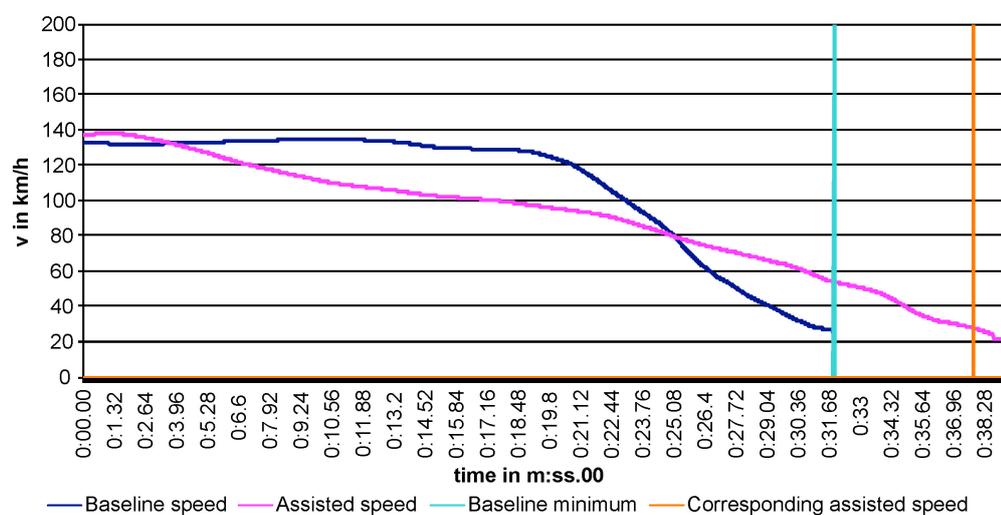


Abbildung 10: Geschwindigkeitsverläufe über die Zeit im Fahrsimulator des Lehrstuhls MMK

Im Fahrsimulator zeigte das Assistenzsystem bereits vielversprechende Eigenschaften vor allem bei der Beeinflussung der Fahrer zur frühzeitigen Verzögerung und des gleichmäßigeren Geschwindigkeitsabbaus (siehe auf Abb. 10). So begannen die Fahrer bei der Fahrt auf einen Stau knapp 6 Sekunden früher mit der Verzögerung als nicht assistierte Fahrer. Folgende Unterschiede zum hier erwähnten Versuch machen eine Adaptierung und Neuaufgabe dessen sinnvoll:

- Anwendung des Systems im Nutzfahrzeug
- Fahrt in einem realen Fahrzeug
- Einbeziehung von professionellen Fahrern
- Fahrgefühl und Kollisionsgefahr

- Lichtverhältnisse

Eine Anwendung im LKW bedingt beispielsweise niedrigere Maximalgeschwindigkeiten, veränderte Situationsübersicht durch die höhere Sitzposition und eine andere Nutzergruppe. Die Nutzung eines Realfahrzeugs bedingt eine realistischere Fahrphysik mit kinästhetischem Feedback, Einwirkung von Tageslicht (was v.a. für die Wahrnehmung der LED-Module relevant ist) und nicht zuletzt eine fast optimale Immersion der Fahrer in die Fahrsituation. Um letzteren Punkt vergleichbar mit normalem Straßenverkehr zu machen fehlt lediglich die Anwesenheit von Fremdverkehr, ansonsten bedeuten die eingesetzten Absperrungen bereits ernstzunehmende Hindernisse.

Durch den Versuch sollen folgende objektive Größen auf den letzten 1000m vor einem Hindernis erfasst werden:

- Durchschnittsgeschwindigkeit
- Maximale Verzögerung
- Zeitverlust durch frühere Verzögerung
- Zeitgewinn bei der Reaktion auf ein Hindernis

Durch einen Fragebogen sollen folgende Fragen zum subjektiven Eindruck beantwortet werden:

- Wie intuitiv ist das System?
- Erfüllt es den Zweck der Unterstützung einer vorausschauenderen Fahrweise?
- Ist es optisch ansprechend?
- Wie beeinflussen Fehlfunktionen das Systemvertrauen?
- Welche Eigenschaften werden als besonders positiv oder negativ gesehen?

Daher wurden sowohl fahrdynamische Parameter und Pedalstellungen aufgezeichnet als auch ein Fragebogen verwendet. Zuletzt wurde auch die Strecke entsprechend gewählt um die gewünschten Situationen hervorrufen zu können.

### 3 Versuchsaufbau

Der folgende Abschnitt zeigt im Detail den verwendeten Versuchsaufbau. Dabei wird zunächst die zusätzliche Technik im Versuchsträger und darauffolgend die Streckenvorbereitungen beschrieben.

#### 3.1 Aufbau im Versuchsträger

Im Versuchsfahrzeug wurde das System prinzipiell in der Art wie in Abb. 11 gezeigt aufgebaut. Dabei wurde über ein Notebook von MAN mit einem Vector CAN-USB Interface auf den CAN-Bus des Fahrzeugs zugegriffen. Die Verbindung mit dem zweiten Notebook, das zur Steuerung des ISPA-Systems und zur Datenaufzeichnung genutzt wurde, war über eine LAN-Verbindung realisiert. Aus dem CAN-Bus wurden folgende Daten abgefragt:

- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Gaspedalstellung
- Bremspedalstellung
- Gang

Am Steuerrechner war noch ein Consumer GPS-Empfänger von Holux angeschlossen, worüber die GPS-Position erfasst wurde. Die Tonausgabe für den Gong bei erster Assistenzaktivierung wird über die eingebauten Lautsprecher des Steuerrechners durchgeführt, da diese sich in Vorversuchen als ausreichend erwiesen hatten.

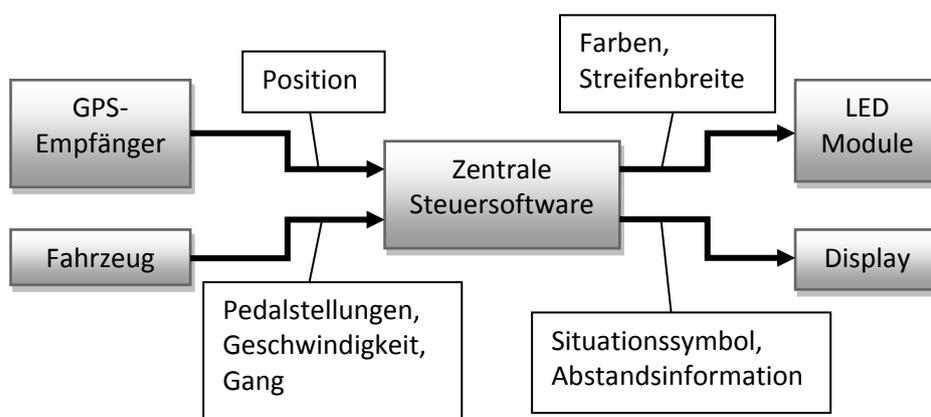


Abbildung 11: Blockschaltbild des Versuchssystems im Fahrzeug

In Abb. 13 sind die Ausgabesysteme zu sehen, wie sie im Cockpit verbaut wurden. Die LED-Module wurden über eine der Form der Kombiinstrument-Hutze angefertigte Adapterplatte befestigt. Da die Fahrten bei Tageslicht durchgeführt wurden, musste die

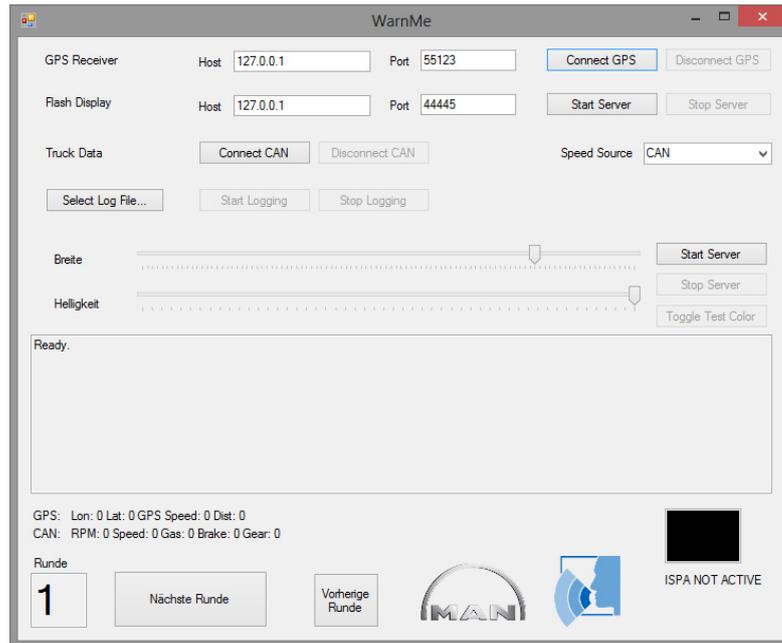


Abbildung 12: Screenshot der zentralen Steuersoftware

Helligkeit der LED-Module auf den maximalen Wert eingestellt werden. Für die Anzeigen im Kombiinstrument wurde ein TFT-Bildschirm so angebracht, dass die vorhandenen Rundinstrumente weiterhin ablesbar sind. Der obere Teil des Originaldisplays mit der Ganganzeige etc. ist ebenso weiter sichtbar.

### 3.2 Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke wurde freundlicherweise von BMW kostenfrei zur Verfügung gestellt. Sie befindet sich im Norden Münchens entlang des Nordufers des Ismaninger Speichersees. Der für den Versuch genutzte Teil besteht wie in Abb. 14 zu erkennen ist (orange Markierung) im Wesentlichen aus zwei langen parallel verlaufenden Geraden und zwei langgezogenen Kurven. Für den Versuch war es besonders wichtig, dass zum einen genügend lange Streckenabschnitte vorhanden sind, in denen auf Höchstgeschwindigkeit beschleunigt werden kann. Zum anderen muss mindestens ein Teilabschnitt schlecht oder gar nicht einsehbar sein, um die Vorteile des Assistenzsystems demonstrieren zu können. Außerdem sollte es auch möglich sein, während des Versuchs eine gewisse Streckenlänge zu absolvieren, um nicht in zu kurzer Zeit die Hindernisse auftreten lassen zu müssen. Bei 9 Runden im assistierten Fall und 10 Runden im nicht-assistierten bei einer Rundenlänge von ca. 7,5km war dies hinreichend gegeben. Das Kriterium der schlechten Einsehbarkeit ist nur in der östlichen Kurve gegeben, weshalb hier wie in Abb. 15 zu sehen ist die Hindernisse an drei verschiedenen Punkten platziert wurden. Da nur diese Kurve sinnvoll für die Hindernisse nutzbar ist, jedoch für jeden Probanden mehrere möglichst unvorhersehbare Situationen herzustellen wa-



Abbildung 13: Ansicht der Ausgabegeräte: TFT Display im Kombiinstrument und LED Module auf der Kombi - Hutze

ren, mussten diese drei Positionen gewählt werden. In Abb. 16 ist eines der Hindernisse abgebildet. Es handelte sich um Kunststoffabsperungen, die immer auf der mittleren Spur plaziert wurden. So war es im Notfall immer noch möglich, ohne Kollision rechts oder links davon zu passieren. Auch im Falle eines Zusammenstoßes wäre nur minimalster Schaden entstanden, da die Hindernisse sehr leicht waren.

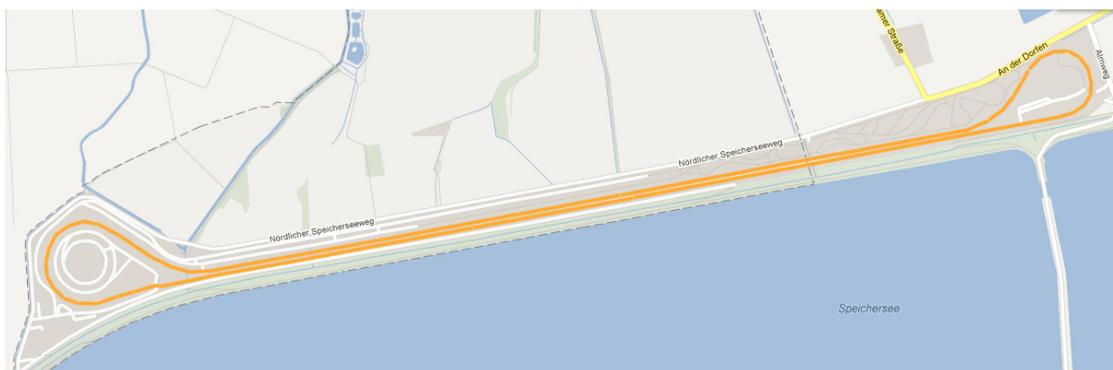


Abbildung 14: Gewählte Route in orange auf dem Messgelände Aschheim der BMW Group



Abbildung 15: Positionierung der Hindernisse



Abbildung 16: Ansicht des Hindernisses T2 mit davor anhaltendem Versuchsträger

## 4 Versuchsdurchführung

Dieser Abschnitt beschreibt die Durchführung des Versuchs an sich. Zunächst wird auf die nötigen Vorbereitungen vor der ersten Versuchsfahrt eingegangen, danach das Probandenkollektiv und zuletzt der Ablauf beschrieben.

### 4.1 Vorbereitung

Vor dem ersten Probanden musste die Strecke noch mit dem GPS-Empfänger vermessen werden. Hierfür wurde sie mit einer Geschwindigkeit von ca.  $20 \frac{km}{h}$  abgefahren, wobei immer möglichst die äußerste Spur benutzt wurde. Erstere Maßnahme hatte den Hintergrund, dass die Strecke mit möglichst vielen Messungen abgetastet wurde um später einen geringstmöglichen Fehler bei der Berechnung des Streckenmeters zu haben. Die aufgezeichneten Geschwindigkeitsprofile werden später über den Streckenmeter aufgetragen. Das Befahren der äußersten Spur war nötig, um vor allem auf den Geradenstücken während des Versuchs keine fälschliche Zuordnung zur Gegenseite zu bekommen.

Da während einer Versuchsfahrt immer wieder Fehlmessungen des GPS-Senders zu erwarten sind, werden Messungen mit unrealistisch hohen Distanzen zur vorangegangenen Messungen verworfen. Die verbliebenen werden einem Streckenpunkt zugeordnet, um entlang der Strecke den verbleibenden Abstand zu einem Hindernis berechnen zu können. Dazu werden ebenfalls einmal die Positionen der Hindernisse vermessen. Während des Versuchs berechnet die GPS-Anwendung dann in Echtzeit die Abstände zu den jeweiligen Hindernissen und stellt sie der Steuersoftware über eine Socket-Verbindung zur Verfügung. Da die Hindernisse während des Versuchs immer wieder



Abbildung 17: Links: Emil Drefers sitzend auf Versuchsträger mit VW Käfer als Streckenfahrzeug, rechts: Qing Zhou bei der GPS-Vermessung der Strecke

auf- und abgebaut werden müssen (siehe Tabelle in Abschnitt „Ablauf“), wurden diese bereits vorher in der Nähe ihres Aufstellungsortes plaziert. Dies musste natürlich so erfolgen, dass sie bei der Vorbeifahrt während der Runden ohne Hindernisse möglichst nicht sichtbar sind. Da die Hindernisse teils auch mehrere hundert Meter durch das

mehrfache Hin- und Zurückbewegen auseinander standen und auch von Witterungsverhältnissen unabhängiger zu sein, musste ein Streckenfahrzeug eingesetzt werden, wie in Abb. 17 zu sehen ist.

## 4.2 Probanden

Am Versuch nahmen insgesamt 12 Probanden teil, die auf zwei Tage verteilt wurden und eine Versuchsdauer von ca. 90 Minuten pro Person zu absolvieren hatten. Das Durchschnittsalter war 34,9 Jahre, es nahmen nur männliche Probanden teil. Es waren 9 Teilnehmer im Besitz eines gültigen LKW - Führerscheins, die restlichen hatten eine interne Fahrerlaubnis von MAN, die von BMW auf der Versuchsstrecke anerkannt wurde. Zwei Fahrer hatten eine jährliche Kilometerleistung von unter 5000km, drei von 15000 - 20000km und die restlichen 7 Fahrer fuhren mehr als 20000km pro Jahr. Alle Halter eines LKW-Führerscheins fuhren mehr als 15000km pro Jahr.

## 4.3 Ablauf

Da insgesamt 12 Probanden mit einer jeweiligen Versuchsdauer von ca. 90 Minuten eingeladen wurden, musste der Versuch auf zwei Tage verteilt werden. Zuerst wurden sämtliche Fahrten mit Assistenz durchgeführt, wofür 9 Runden benutzt wurden. Bei der zweiten Reihe wurde die Referenz aufgezeichnet, bei der die Fahrer mit den gleichen Hindernissen konfrontiert wurden, allerdings ohne Assistenzfunktion. Hierbei wurde lediglich der Bildschirm im Kombiinstrument und die LED-Module deaktiviert, das restliche System arbeitete normal und zeichnete die Daten inklusive der „theoretischen“ Assistenzangaben auf. Die Referenzfahrer fuhren zuletzt noch eine assistierte Runde mit Hindernis T2, nachdem sie in das System eingewiesen wurden. So konnte noch weitere Daten gesammelt werden und die Probanden ebenfalls Aussagen zu ihrer subjektiven Bewertung machen.

Der Grundlegende Ablauf war wie folgt:

- Platznehmen im Fahrzeug, Ausfüllen der demografischen Daten
- Einweisung in das Fahrzeug, KEINE Erklärung des Assistenzsystems, aber Hinweis dass Hindernisse auf der Strecke platziert sein können, die im Notfall überfahren werden können. Es soll immer die mittlere Spur befahren werden, um im Notfall nach beiden Seiten ausweichen zu können.
- Start der Datenaufzeichnung
- Fahrt von einer Runde ohne Assistenz zur Eingewöhnung, Platzierung des Hindernisses in der nicht-einsehbaren Kurve
- Fahrt einer Runde mit Assistenz, Hindernis in der nicht-einsehbaren Kurve
- Anhalten, Ausfüllen des Fragebogenteils zum Erstkontakt
- Einweisung in das Assistenzsystem

- Weitere Runden (ab Runde 3) nach folgendem Plan (T4 ist ein False Alarm, das letzte T2 ist eine Fehlfunktion / Miss) :

Die erste Runde ohne Erklärung des Assistenzsystems diente der Erfassung der Reaktion auf das System bei Erstkontakt. Auf diese Weise können prinzipielle Schwächen des Systems, vor allem wie selbsterklärend es ist, eruiert werden. Bei den nicht assistierten Fahrern wurde prinzipiell der gleiche Ablauf gewählt, lediglich der Stop nach der zweiten Runde mit dem Ausfüllen des Fragebogens zum Erstkontakt wurde ausgelassen. Stattdessen wurde nach der 9. Runde das Assistenzsystem erklärt und die Assistenz am Hindernis T2 demonstriert.

Die Runden wurden nach untenstehender Tabelle eingeteilt. Dabei ist noch zu erwähnen, dass in Runde 4 vom System zwei Hindernisse gemeldet wurden, wobei nur eines davon (T1) tatsächlich vorhanden war. Hindernis T4 war als Fehlalarm (False Alarm FA) implementiert und war ca. in der Mitte der Westkurve plazierte. Da die Kurve gut einsehbar ist konnte dadurch getestet werden, inwieweit die Fahrer trotzdem auf das System reagierten und wie sich dies auf die Akzeptanz auswirkte. In Runde 9 wurde das Hindernis T2 aufgestellt, jedoch wurde das ISPA-System bei den assistierten Fahrern nicht aktiviert. Auf diese Weise wurde eine weitere Fehlfunktion simuliert, in der das System ein Hindernis nicht korrekt erkannt hat. Daraus kann wieder ein Vergleich zur assistierten Fahrt auf dieses Hindernis gezogen werden und auch der Einfluss dieses Fehlers auf das Systemvertrauen abgefragt werden. Da die Hindernisse während

Runde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hindernis	x	T2	x	T1 + T4 (FA)	x	x	T3	x	T2 (Miss)	T2

des Versuchs umgebaut wurden und die Fahrt möglichst in einem Zug gemacht sollte um ein realistischeres Fahrgefühl aufkommen zu lassen, war ein Helfer nötig. Aus Sicherheitsgründen musste daher kurz vor jeder neuen Runde per Streckenfunk die Freigabe der Strecke durch den Helfer erfragt werden um den Probanden keine Möglichkeit zur Vorahnung zu geben und die Unfallgefahr mit dem Helfer zu minimieren. Insgesamt wurden also in den zwei Versuchstagen 12 Probanden getestet, 60 Fahrten auf ein Hindernis gemessen und eine Gesamtstrecke von ca. 861 km in 18 Stunden gefahren.



Abbildung 18: Ansicht des Versuchsträgers auf der Teststrecke

## 5 Auswertung

Nachdem die Daten während des Versuchs aufgezeichnet wurden bzw. die Fragebögen ausgefüllt wurden, können diese Daten nun ausgewertet werden. Hierfür müssen sie zunächst in passende Formate gebracht und aufbereitet werden, um später die Auswertung zu erleichtern. Vor allem der Ausgleich der unterschiedlichen Abtastraten und Verzögerungen der einzelnen beteiligten Systeme ist für eine genaue Auswertung nötig.

### 5.1 Datenaufbereitung

Da die Aufzeichnung während des gesamten Versuchs eines Probanden lief, musste sie für jeden Probanden zunächst in die einzelnen Runden eingeteilt werden. Einige der späteren Auswertungen basieren auf dem Streckenmeter, an dem sich das Fahrzeug zu einem gewissen Zeitpunkt befindet. Da die Entfernungsberechnung für das ISPA - System auf Basis der vor dem Versuch durchgeführten GPS - Vermessung der Strecke beruhen, wurde auch diese Messung als Referenz für den Streckenmeter benutzt.

Der GPS - Sensor liefert die Positionsdaten gemäß dem WGS 84 System in Form von Höhe, Längen- und Breitengrad. Für jede Runde wurde dann der Zeitpunkt in der Datenaufzeichnung als Startpunkt einer Runde gewählt, an dem die Fahrzeugposition den minimalen euklidischen Abstand der Längen- und Breitengrade zum ersten Punkt der Streckenvermessung hat. Der Streckenmeter wurde hier zu Null gesetzt, das Ende einer Runde wurde entsprechend auf gleiche Weise festgelegt. Der Streckenmeter wurde dann für jedes Sample der Aufzeichnung anhand der Geschwindigkeit aus dem CAN - Bus gewonnen. Diese ist wesentlich genauer und mit höherer Abtastrate (ca. 20 Hz) verfügbar als die Geschwindigkeit aus dem GPS - Sensor, der nur mit 1 Hz Positionsaktualisierungen bereitstellt. Die vorkommenden Datenraten sind:

- GPS - Sensor: 1 Hz
- CAN - Bus: ca. 20 Hz
- Steuersoftware / Aufzeichnung: 64 Hz

Die Daten aus dem CAN - Bus und dem GPS - Sensor wurden so aufbereitet, dass anhand der Wertesprünge die ursprünglichen Samplezeitpunkte detektiert wurden. Daraus wurde dann für jeden Sensor ein neuer Vektor mit reduzierter Datenrate erzeugt, der im Falle der GPS - Messungen (Referenzstrecke und Abstandsberechnungen) mit einer gewichteten lokalen Regression mittels eines Polynoms zweiten Grades geglättet wurde (Matlab - Funktion Smooth mit Algorithmus „rloess“). Dies war vor allem nötig, da der GPS - Sensor häufig Fehlmessungen erzeugte, bei denen meist für genau eine Messung der Positionswert um mehr als 50 m hin- und zurücksprang. Dieser geglättete Vektor wurde dann mittels Upsampling und dafür genutzter Spline - Interpolation wieder auf 64 Hz Abtastrate gebracht, siehe auch Abb. 19.

Bei einigen Runden wurde zeitweise eine falsche Zuordnung der aktuellen GPS - Position zur Referenzstrecke gemacht. Dies hatte zur Folge, dass sobald die Zuordnung

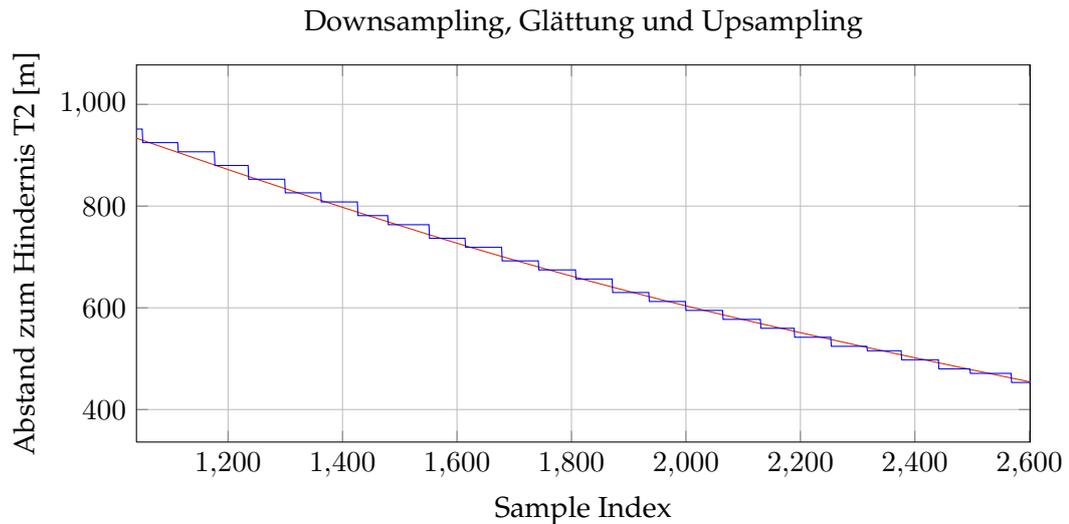


Abbildung 19: Rekonstruktion der Sampling - Zeitpunkte, Glättung mit lokaler Regression und Upsampling mit Spline Interpolation

korrekt war ein Sprung im Abstandswert zum Hindernis auftrat. Da dies nur bei Entfernungen von mehr als 1000 m auftrat, hatte dies keine Auswirkung auf die Funktion des Assistenzsystems, das erst ab 1000 m eine Ausgabe generiert. Allerdings ist auch dieser Abstandsbereich für die Auswertung von Interesse, daher wurde der Abstand ausgehend von der 1000 m - Marke mithilfe der Geschwindigkeit aus dem CAN - Bus rekonstruiert. Das Ergebnis des Upsamplings und der Korrektur des Abstandswertes ist in Abb. 20 zu sehen.

## 5.2 Fahrdynamik

Wie zuvor in der Versuchsbeschreibung dokumentiert, wurden Hindernisse für die assistierten Fahrer in den Runden 2, 4, 7 und 9 aufgestellt. Bei den nicht assistierten Fahrern wurde lediglich in Runde 10 ein Hindernis plaziert, um auch aus dieser Gruppe Daten zur Fahrdynamik und subjektiven Bewertung des Systems zu sammeln. Da das ISPA - System auch bei den nicht assistierten Fahrern im Hintergrund mitlief, konnte zu Vergleichszwecken auch für diese Fahrer beispielsweise eine Reaktionszeit ermittelt werden, die hier allerdings der Zeitspanne zwischen einer theoretischen Ausgabe des Assistenzsystems in der gleichen Situation und einer Fahrerreaktion entspricht.

Für alle Runden mit Hindernis wurden folgende fahrdynamische Größen für die letzten 1000m vor einem Hindernis ausgewertet:

- Geschwindigkeitsverlauf über den Streckenmeter
- Durchschnittsgeschwindigkeit bis zum Stillstand
- Startgeschwindigkeit

### Reparatur und Resampling des Hindernisabstands

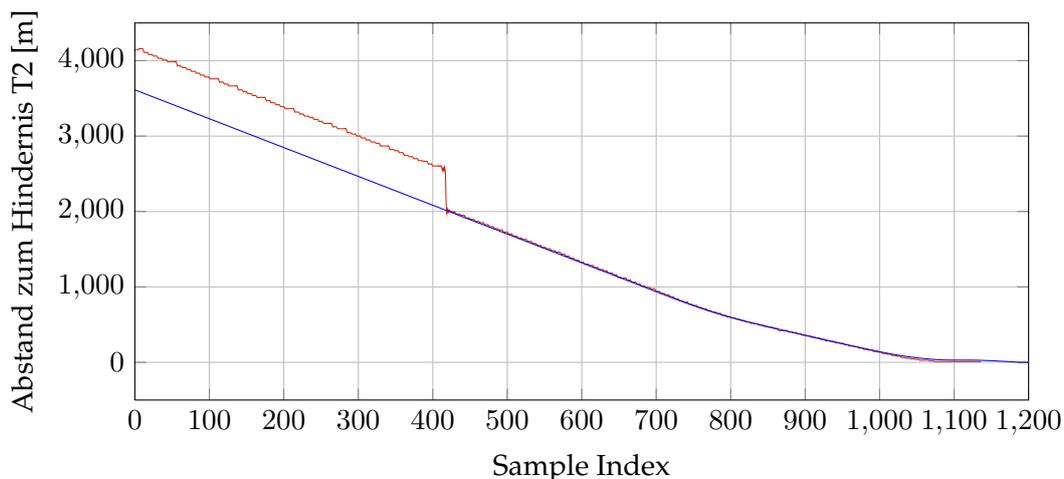


Abbildung 20: Reparatur der Hindernis - Abstände: Rekonstruktion beginnend vom 1000 m - Abstand in beide Richtungen anhand der CAN - Geschwindigkeit

- Integral der Bremspedalstellung
- Reisezeit bis Stillstand
- Maximale Verzögerung
- Reaktionszeit auf ISPA - Ausgabe

Der Geschwindigkeitsverlauf wurde aus der Geschwindigkeitsinformation des Fahrzeug - CAN - Busses erzeugt, da dies im Vergleich zur GPS - Messung eine wesentlich höhere Genauigkeit bietet. Anhand dieser Verläufe kann verglichen werden, wie die Geschwindigkeitsreduktion vonstatten geht, was wiederum Rückschlüsse auf einen möglichen Sicherheitsgewinn zulässt. Da eine niedrigere Geschwindigkeit einhergeht mit niedrigerer kinetischer Energie und damit im Falle einer Kollision weniger starken Unfallfolgen ist eine frühzeitige Geschwindigkeitsreduktion wünschenswert. Eine gleichmäßige (gleichbleibende Verzögerung) Reduktion ist einer abrupten Änderung ebenfalls vorzuziehen (siehe auch [Nagel92]), da diese ein geringeres Potential zur Erzeugung von Folgeunfällen und Stauwellen hat.

Für die Durchschnittsgeschwindigkeit, Integral der Bremspedalstellung und die Reisezeit wurde der Zeitpunkt des Stillstands vor dem Hindernis als Ende des Analyseintervalls gewählt.

Die maximale Verzögerung wurde aus der CAN - Geschwindigkeitsinformation gewonnen, da fahrzeuginterne Sensoren nicht auf einfache Weise abgefragt werden konnten. Als „Reaktionszeit“ wurde die Zeit zwischen der ersten Assistenzausgabe und einer darauffolgenden Geschwindigkeitsreduktion von mindestens  $0,64 \frac{m}{s^2}$  festgelegt.

Diese Zeit wurde auch für die nicht assistierten Fahrer berechnet, da das ISPA System trotzdem im Hintergrund ausgeführt wurde und lediglich die Ausgabesysteme deaktiviert waren.

Beispielhaft sollen hier die Ergebnisse der oben aufgeführten Größen anhand der 4. Runde mit dem 1. Hindernis (T1) erläutert werden. Für die restlichen Runden sind die Ergebnisse im Anhang enthalten. In Abb. 21 sind die Geschwindigkeitsverläufe

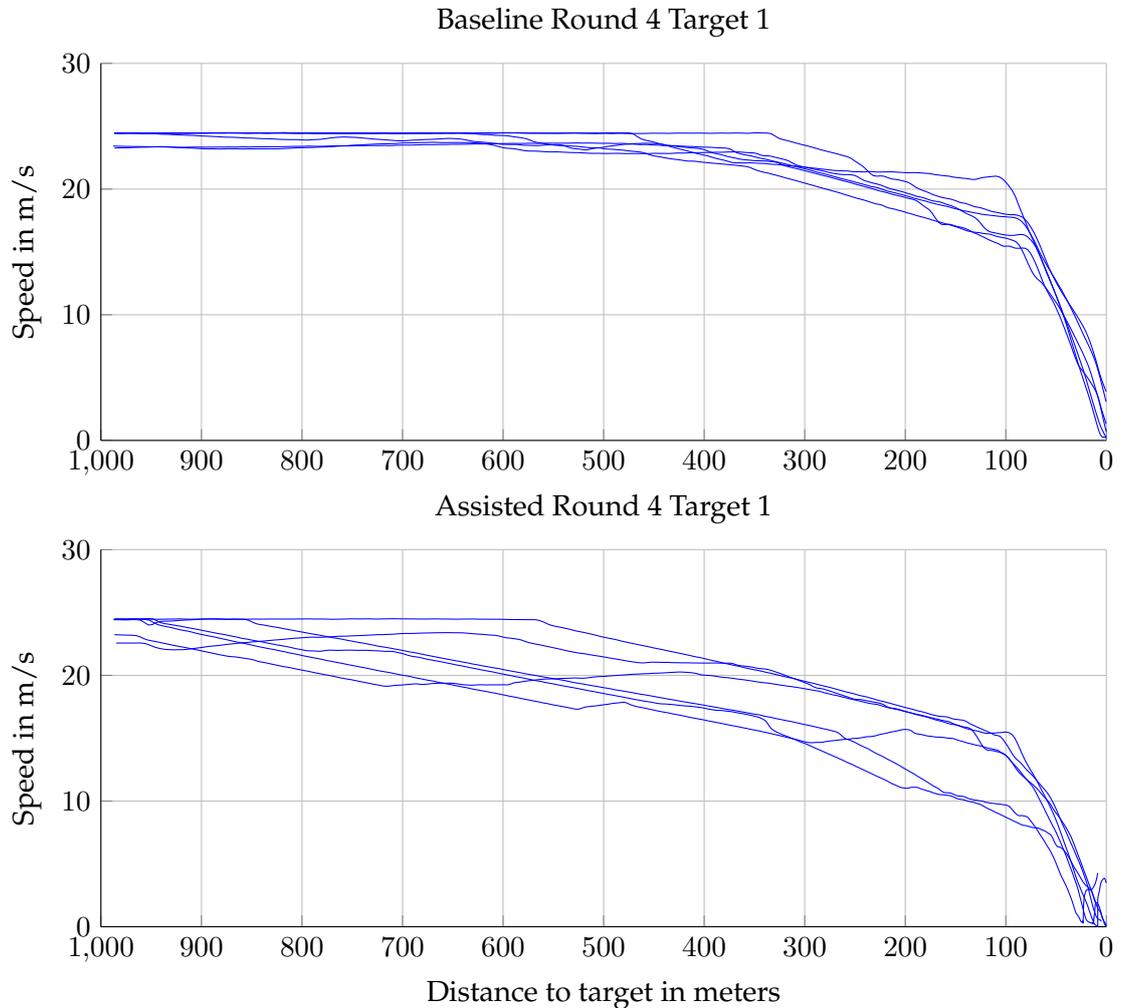


Abbildung 21: Geschwindigkeitsverlauf in Runde 4 für Target 1

der assistierten und nicht assistierten Fahrer untereinander abgebildet. Man erkennt, dass beide Gruppen mit keinem signifikanten Geschwindigkeitsunterschied in die Situation eintreffen (siehe auch Tab. 2). Daraus kann gefolgert werden, dass zu Beginn des betrachteten Abschnitts für beide Fahrergruppen die gleichen Startbedingungen herrschten. Während die nicht assistierte Vergleichsgruppe bis ca. 400 m vor dem Hindernis mit gleichbleibender Geschwindigkeit von ca.  $23 - 25 \frac{m}{s}$  weiterfahren, reduziert

die assistierte Gruppe ihre Geschwindigkeit beim gleichen Abstand auf ca. 16 - 22  $\frac{m}{s}$ . Als das Hindernis ca. 100 m vorher sichtbar wird, hat die assistierte Gruppe ihre Geschwindigkeit bereits wesentlich weiter reduziert, wodurch auf den letzten Metern mit Sichtkontakt weniger stark gebremst werden muss. Dies spiegelt sich auch in der signifikant um 1.3403  $\frac{m}{s^2}$  geringeren maximalen Verzögerung in Tab. 2 wider. Die Anfangsgeschwindigkeit wird also über eine längere Strecke und gleichmäßiger abgebaut (siehe auch die um  $-4.0929\frac{m}{s}$  verringerte Durchschnittsgeschwindigkeit), was ein geringeres Potential zur Erzeugung von Stauwellen und folglich Unfällen zum Ergebnis hat. Das

Größe	$\Delta$ Mittelwerte (Ass. - Base.)	Signifikanz	p
Durchschn. Geschw.	$-4.0929\frac{m}{s}$	✓	0.0095238
Startgeschwindigkeit	$-0.14758\frac{m}{s}$	X	0.58874
Bremsintegral	-199.2	X	0.91429
Reisezeit	11.6276s	✓	0.0095238
Max. Verzögerung	1.3403 $\frac{m}{s^2}$	✓	0.0095238
Reaktionszeit	$-20.526s$	✓	0.0021645

Tabelle 2: Vergleich fahrdynamischer und abgeleiteter Größen Runde 4, Hindernis T1

Integral der Bremspedalstellung ist bei beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich, während sich die Reisezeit hingegen signifikant um mehr als 11 Sekunden auf den letzten 1000 Metern verlängert. Der Unterschied in der Reaktionszeit von über 20 Sekunden deutet darauf hin, dass die assistierten Fahrer um diese Zeitspanne früher über die bevorstehende Situation Bescheid wussten als ihre nicht assistierten Pendanten. Zusätzlich zu den mit dem Mann - Whitney U - Test auf statistische Signifikanz geprüften Größen zeigt Abb. 22 die Vergleiche der beiden Fahrergruppen anhand von Boxplots. Auch hier ist bei der Startgeschwindigkeit und dem Integral der Bremspedalstellung zu erkennen, dass die Interquartilbereiche praktisch überlappen und daher auf ähnlich verteilte Größen hindeuten.

### 5.3 Fragebögen

Die Fragebögen bestanden aus demographischen Fragen, Aussagen zu denen die Zustimmung oder Ablehnung auf einer Skala markiert werden musste, einem Block von Wortpaaren, die als semantisches Differential ausgelegt waren und freien Fragen. Der erste Teil des Fragebogens (siehe Anhang) wurde nur von den assistierten Fahrern ausgefüllt. Er diente dazu, die subjektive Systembewertung nach dem Erstkontakt zu erfassen. Der zweite Teil wurde von allen Fahrern ausgefüllt, da auch die nicht-assistierten am Ende ihres Versuchs eine Erklärung zum Assistenzsystem bekamen und eine assistierte Runde mit dem Hindernis T2 durchfuhren. Als einziger Unterschied zwischen den beiden Fragebogenteilen war die Frage, ob das System im eigenen Fahrzeug benutzt werden würde, welche nur im zweiten Teil vorkam. Insgesamt wurde das System wie in den Boxplots in Abb. 23 zu erkennen ist positiv bewertet. Zwischen der

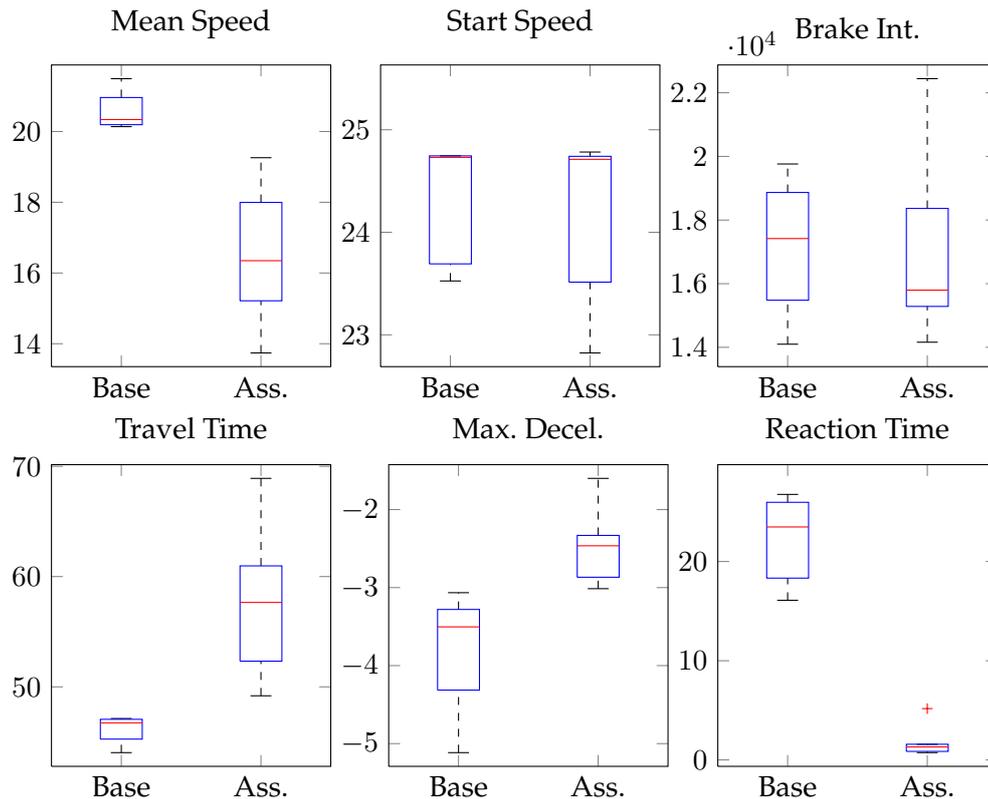


Abbildung 22: Metriken in Runde 4 für Target 1

Einschätzung des Erstkontakts und dem Gesamteindruck sind leichte Unterschiede zu erkennen. So hat sich die Bewertung der optischen Qualität um ca. eine Bewertungsstufe verbessert, bei der Intuitivität haben sich vor allem die Ausreißer positiv verschoben. Die Bewertungen zur Unterstützung vorausschauenden Fahrens und zum Einsatz im eigenen Fahrzeug wurden beide im höchsten Skalenintervall angesiedelt.

Des Weiteren wurden die gegensätzlichen Wortpaare wie in Abb. 24 zu sehen ist bewertet. Es sein noch einmal hervorzuheben, dass Frage 1.4 nur von den assistierten Fahrern beantwortet wurde während Frage 2.5 von allen bearbeitet wurde. Generell lässt sich eine Tendenz zu positiveren Bewertungen erkennen, die jedoch über die Gesamtheit der Wortpaare nicht statistisch signifikant ausfällt. Zur leichteren Vergleichbarkeit und Analyse der Signifikanz der Ergebnisse wurden die Wortpaare so angeglichen, dass das positive Wort anders als im Fragebogen immer auf der rechten Seite der Skala platziert ist. Die größten Verbesserungen treten bei den Wortpaaren „plump - elegant“, „gewöhnlich - besonders“, „konservativ - innovativ“ und „träge - dynamisch“ auf.

Außerdem wurden noch Fragen zur freien Beantwortung gestellt, wobei die Fragen 1.5 - 1.7 lediglich von den assistierten Fahrern direkt nach dem Erstkontakt und die gleichlautenden Fragen 2.6 - 2.8 von allen Probanden bearbeitet wurden.

Zu Frage 1.5 in der besonders positive Eigenschaften des Systems aufgeführt werden

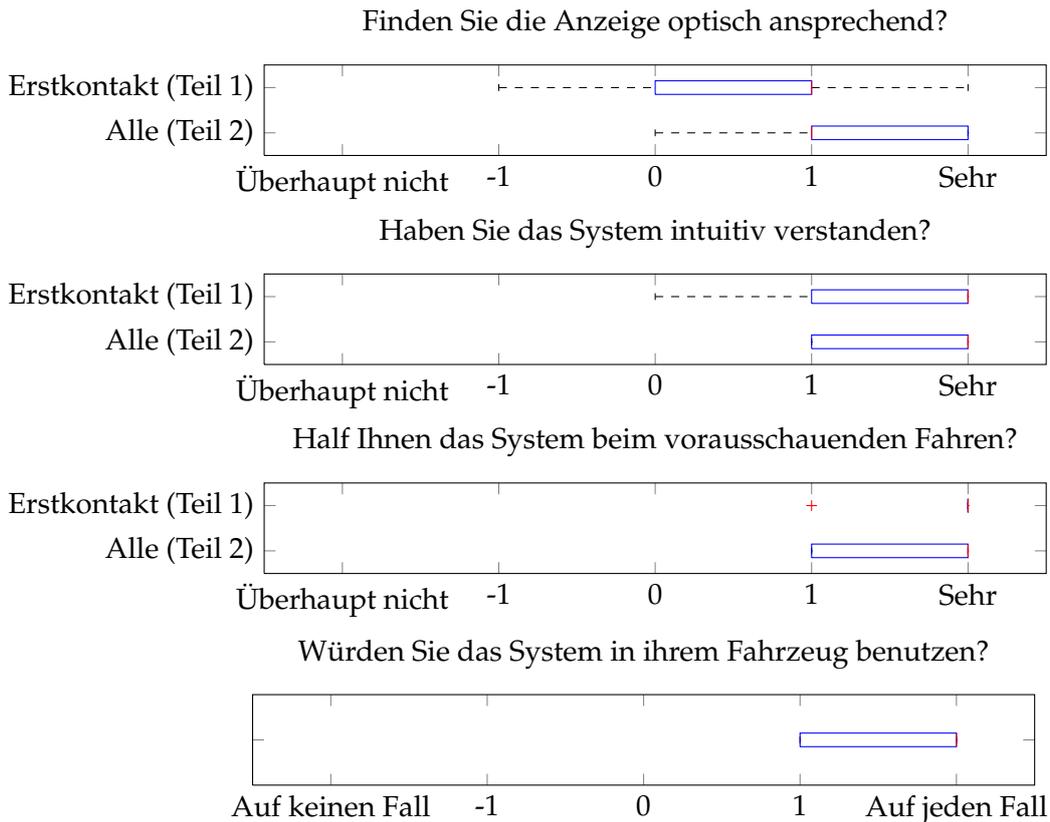


Abbildung 23: Fragen 1.1 - 1.3 (nach Erstkontakt) und 2.1 - 2.4 (nach Versuchsfahrten)

sollten, wurden folgende Antworten gegeben:

- Farbwechsel, Anzeige als Balken
- Sehr einfache, gut verständliche Darstellung
- hochauflösendes farbiges Bild/Symbol in der Mitte, Entfernungsangabe
- Vorausschau, obwohl Hindernis bedingt durch Kurve nicht sichtbar war => Mensch „überlegen“
- Ungefähre Distanz bis zum Hindernis

An negativen Eigenschaften (1.6) wurden genannt:

- Zwei Systeme mit gleicher Aussage
- Entfernungsangabe etwas früh/unauffällig, Kein Warnton/Hinweis auf Anzeige im Display (beep o.ä.)
- räumliche Kodierung des Tons bei erster Benutzung

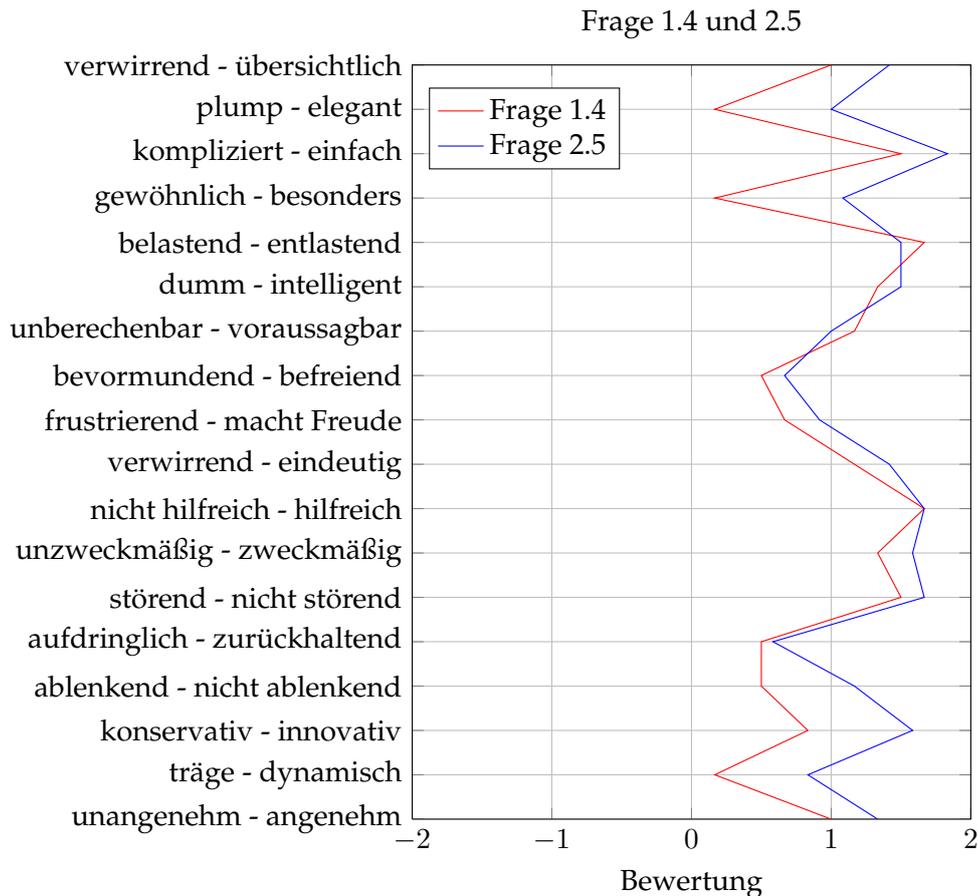


Abbildung 24: Vergleich der normalisierten Wortpaare aus Fragebogenteil 1 und 2

- Ich empfand die Warnung als zu früh
- Position der Anzeige

Folgende weiteren Anmerkungen zu Frage 1.7 wurden von den Probanden gegeben:

- Habe die LEDs bei der ersten Warnung nicht wahrgenommen!
- LED-Streifen relativ unauffällig / spät bemerkt. Evtl. LED-Beleuchtung in die Scheibe (großflächig)
- Lichtband könnte besser sichtbar sein
- Genaue Entfernung angeben, Symbol je nach Hindernis variieren

Die entsprechenden Antworten für die Einschätzung nach der Fahrt waren bei den positiven Eigenschaften (Frage 2.6):

- Der Farbwechsel der LED Anzeige

- Übersichtlichkeit und Warnton
- siehe 1.5 + akustischer Hinweis auf Anzeige (lenkt Auge auf Display)
- Vorausschauende Info, Grund des Hindernisses, reduzierte Info über LED-Band
- Entfernungsangabe bis zum Hindernis
- Einfache Anzeige im Sichtfeld durch Leuchtbalken, genaue Info im Kombidisplay, Farbe und Abstufung der Leuchtbalken
- Die unterschiedlichen Farben
- Akustischer Hinweis für Displayblick
- Ist gut im Blickfeld
- Früher Hinweis
- Codierung mit LED im peripheren Sichtfeld

Sowohl direkt nach dem Erstkontakt als auch nach der mehrmaligen Nutzung während der Fahrt empfanden die Fahrer die verbesserte Vorausschau, die Entfernungsangabe und die farbigen LED - Ausgaben als besonders positiv und sinnvoll. Auch die dezente Ausgabe und Informationsverteilung auf Display und LEDs wurde positiv hervorgehoben.

Bei Frage 2.7 wurden folgende negativen Eigenschaften aufgeführt:

- Das System hat mich so früh gewarnt, dass ich mich als Hindernis gefühlt habe wenn vom Gas gegangen wird.
- siehe 1.6
- Manchmal war LED-Rückmeldung zu sprunghaft (z.B. wenn der Fahrer bei gelb wieder auf Gas ging)
- Fehlmeldung, Leuchtbalken bei Sonne nicht so auffällig

Bei beiden Fragen zu den negativen Eigenschaften wurde vor allem die sehr frühe Warnung und die Unauffälligkeit der LEDs genannt. In Kombination mit den positiven Aussagen zu den LEDs lässt sich daraus die Schlussfolgerung ziehen, dass die LEDs zwar prinzipiell als sinnvoll erachtet werden, jedoch noch etwas eindeutiger sichtbar sein müssten.

Zuletzt wurden noch folgende freien Aussagen bei Frage 2.8 gemacht:

- Ich möchte lieber ein wenig Bremsen als auf das Hindernis zu warten
- LED Anzeige ist nett aber nicht unbedingt notwendig. Eine kleine blinkende Anzeige im Gefahrenfall würde reichen. Im Gefahrenfall Kopplung mit Notbremsassistent sinnvoll.

- siehe 1.7
- LED-Anpassung an Außenhelligkeit (Photosensor), Intuitive genaue Bedeutung der Farbe nur bei entsprechend häufiger Rückmeldung ersichtlich, LED-Rückmeldung harmonischer integrieren ohne direkte Sicht zu verschlechtern, Display näher zu LED-Band bringen
- Dauerbremsen mit einbeziehen (nicht so lange langsam unterwegs, gerade bei leichtem Fzg.), Leuchtbalken höher setzen bzw. oben hinsetzen oder Anzeige im Tacho (ähnlich Drehzahlband)
- Anzeige mit der Entfernung zum Hindernis evtl. etwas größer darstellen
- Display genügt
- Anzeige im Display einbauen
- Farbcodierung evtl. bisschen anders, eindeutiger. Für rot-grün Blinde evtl. von blau auf rot

Die Aussagen aus der ersten Frage für freie Anmerkungen bezüglich der Unauffälligkeit der LEDs wiederholen sich in der korrespondierenden Frage nach dem Versuch nicht. Folglich wird der LED - Balken bei mehrmaliger Nutzung der bewusster genutzt. Allerdings wird mehrfach erwähnt, dass die LEDs besser in das Armaturenbrett integriert werden müssten und eine räumlich stärker integrierte Kombination mit dem Display wünschenswert wäre. Vor allem zum Einbauort der LEDs sei dazu erwähnt, dass die für den Versuch gewählte Anordnung vor allem der einfacheren prototypischen Integration zu Schulden ist.

## 5.4 Zusammenfassung

Abschließend kann festgehalten werden, dass das eingesetzte Assistenzsystem zur Unterstützung vorausschauender Fahrweise die zuvor im Fahrsimulator gezeigten Eigenschaften auch vergleichbar im Realfahrzeug hat. Die Idee der unauffälligen aber dennoch leicht wahrnehmbaren Informationsausgabe über die LED - Module kombiniert mit einer detaillierteren Anzeige im Kombiinstrument hat sich als sinnvoll herausgestellt. Auch die gleichmäßigere Verzögerung und die durch das System früher mögliche Reaktion auf Hindernisse entsprechen den Erwartungen.

Verbesserungspotential besteht vor allem bei der Integration in die Armaturentafel. Außerdem sollte das Display näher an die LEDs positioniert werden um die logische Zusammengehörigkeit zu unterstreichen. Weiter ist eine Integration mit anderen Systemen wie z.B. einem vorausschauendem ACC nötig, um dem Fahrer ein schlüssiges Gesamtbild der Assistenz zu bieten.

In der jetzigen Form ist das System noch fast vollständig auf das Vorhandensein einer Car2X Infrastruktur angewiesen, wobei vereinzelte vor allem statische Hindernistypen auch durch vorhandene Systeme wie TMC oder mobile.info erfasst werden können.

## 6 Anhang

### 6.1 Auswertung der Fahrdynamikdaten

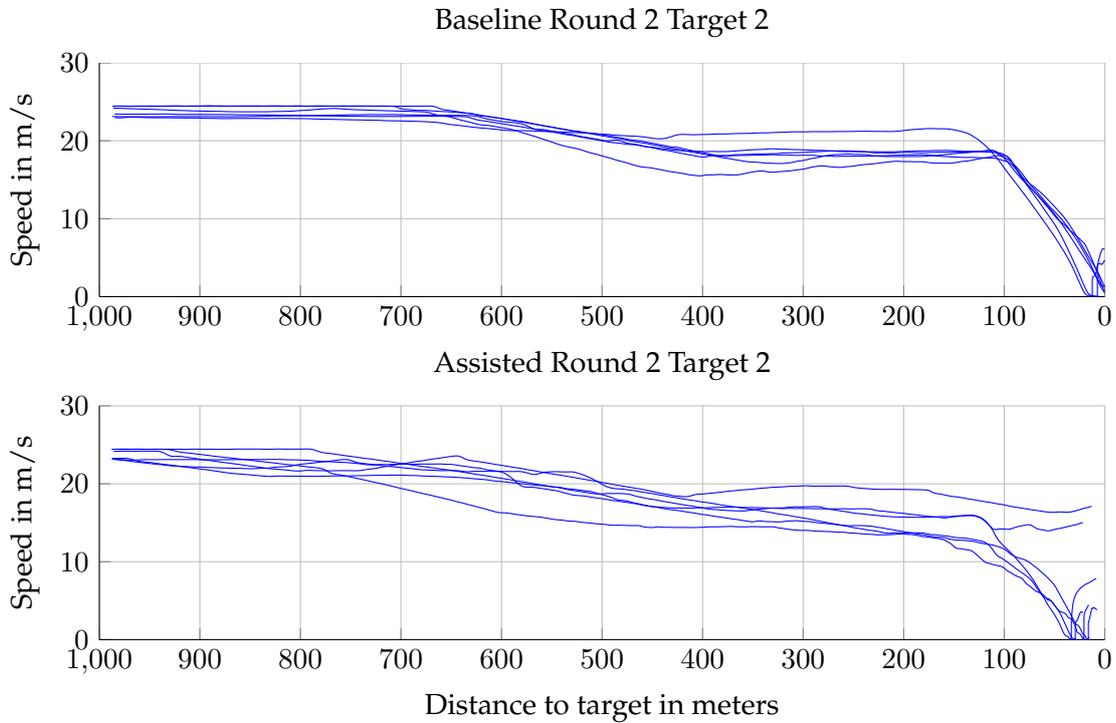


Abbildung 25: Geschwindigkeitsverlauf in Runde 2 für Target 2

Größe	$\Delta$ Mittelwerte (Ass. - Base.)	Signifikanz	p
Durchschn. Geschw.	$-3.7632 \frac{m}{s}$	✓	0.0095238
Startgeschwindigkeit	$0.0068314 \frac{m}{s}$	X	1.0
Bremsintegral	3930.7667	X	0.25714
Reisezeit	11.1784s	✓	0.0095238
Max. Verzögerung	$1.1089 \frac{m}{s^2}$	X	0.11429
Reaktionszeit	$-10.8047s$	✓	0.041126

Tabelle 3: Vergleich fahrdynamischer und abgeleiteter Größen Runde 2, Hindernis T2

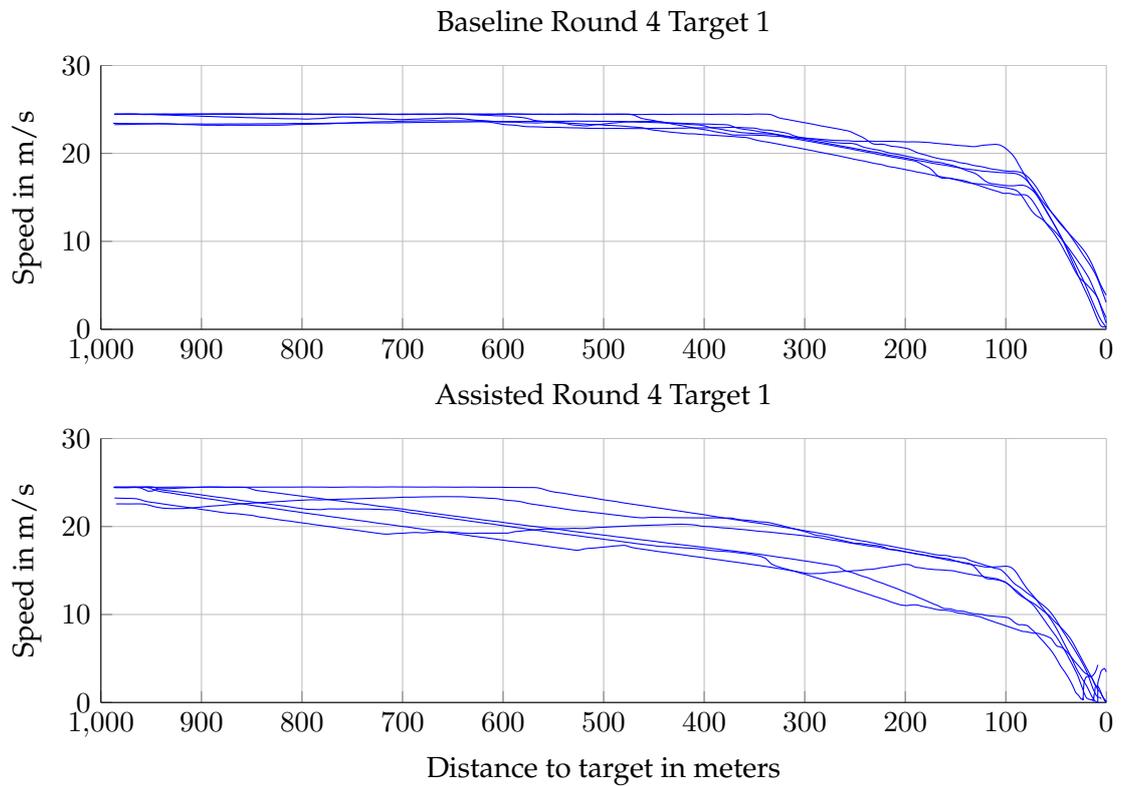


Abbildung 26: Geschwindigkeitsverlauf in Runde 4 für Target 1

Größe	$\Delta$ Mittelwerte (Ass. - Base.)	Signifikanz	p
Durchschn. Geschw.	$-4.0929 \frac{m}{s}$	✓	0.0095238
Startgeschwindigkeit	$-0.14758 \frac{m}{s}$	X	0.58874
Bremsintegral	-199.2	X	0.91429
Reisezeit	11.6276s	✓	0.0095238
Max. Verzögerung	$1.3403 \frac{m}{s^2}$	✓	0.0095238
Reaktionszeit	$-20.526s$	✓	0.0021645

Tabelle 4: Vergleich fahrdynamischer und abgeleiteter Größen Runde 4, Hindernis T1

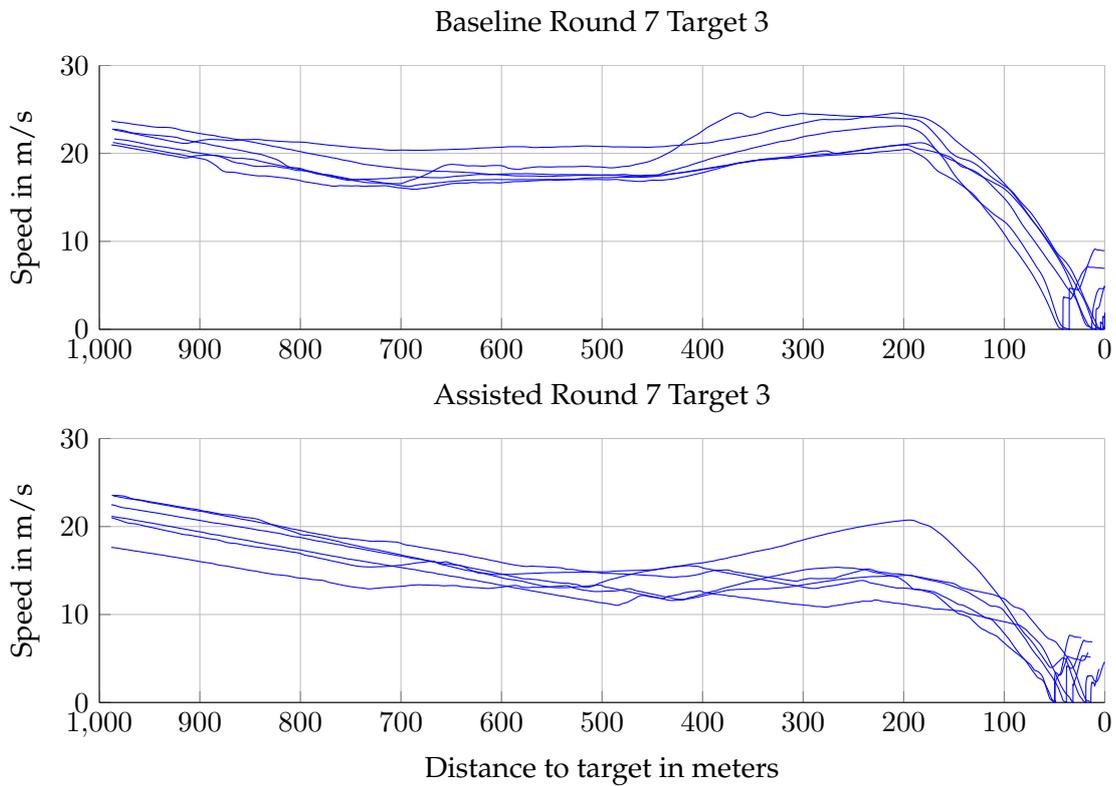


Abbildung 27: Geschwindigkeitsverlauf in Runde 7 für Target 3

Größe	$\Delta$ Mittelwerte (Ass. - Base.)	Signifikanz	p
Durchschn. Geschw.	$-3.9032 \frac{m}{s}$	✓	0.0021645
Startgeschwindigkeit	$-0.63056 \frac{m}{s}$	X	0.69913
Bremsintegral	-3375.6	X	0.30952
Reisezeit	15.737s	✓	0.0021645
Max. Verzögerung	$1.5275 \frac{m}{s^2}$	✓	0.0021645
Reaktionszeit	0.4974s	X	0.58874

Tabelle 5: Vergleich fahrdynamischer und abgeleiteter Größen Runde 7, Hindernis T3

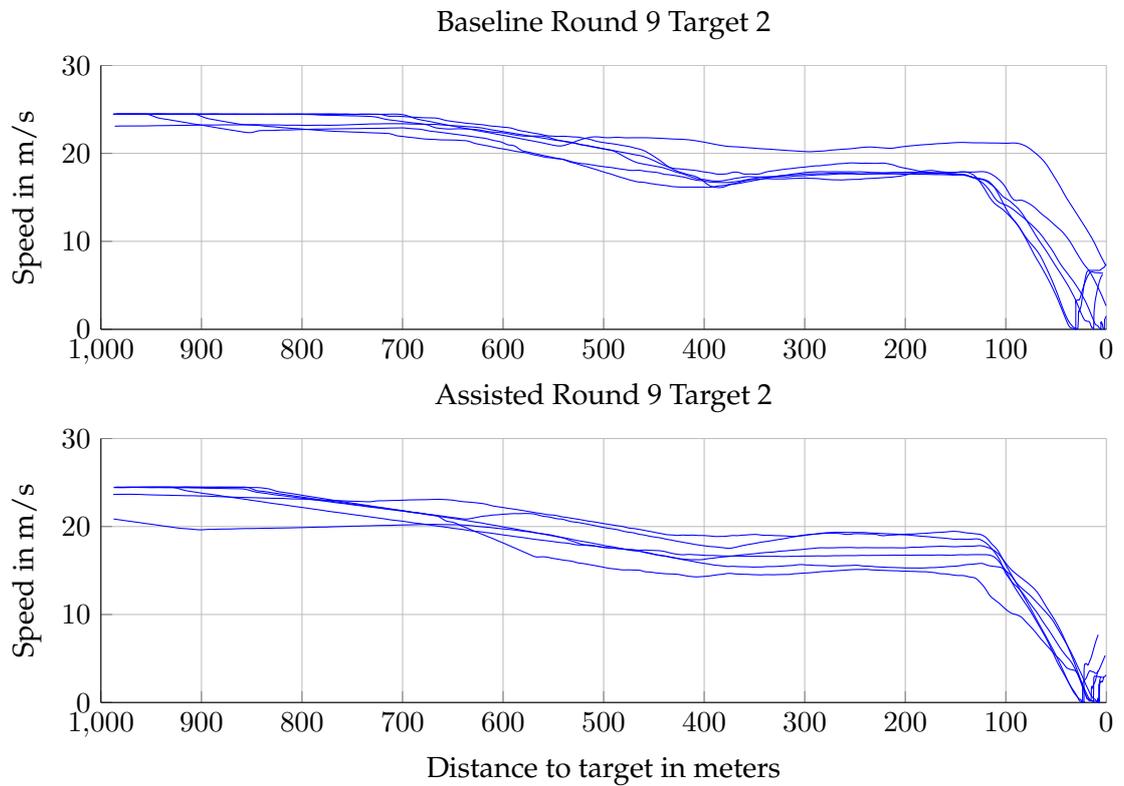


Abbildung 28: Geschwindigkeitsverlauf in Runde 9 für Target 2

Größe	$\Delta$ Mittelwerte (Ass. - Base.)	Signifikanz	p
Durchschn. Geschw.	$-1.2808 \frac{m}{s}$	X	0.051948
Startgeschwindigkeit	$-0.51169 \frac{m}{s}$	X	0.58874
Bremsintegral	-2381.9067	X	0.5368
Reisezeit	4.2318s	X	0.051948
Max. Verzögerung	$-0.32013 \frac{m}{s^2}$	X	1
Reaktionszeit	1.4349s	X	0.93723

Tabelle 6: Vergleich fahrdynamischer und abgeleiteter Größen Runde 9, Hindernis T2

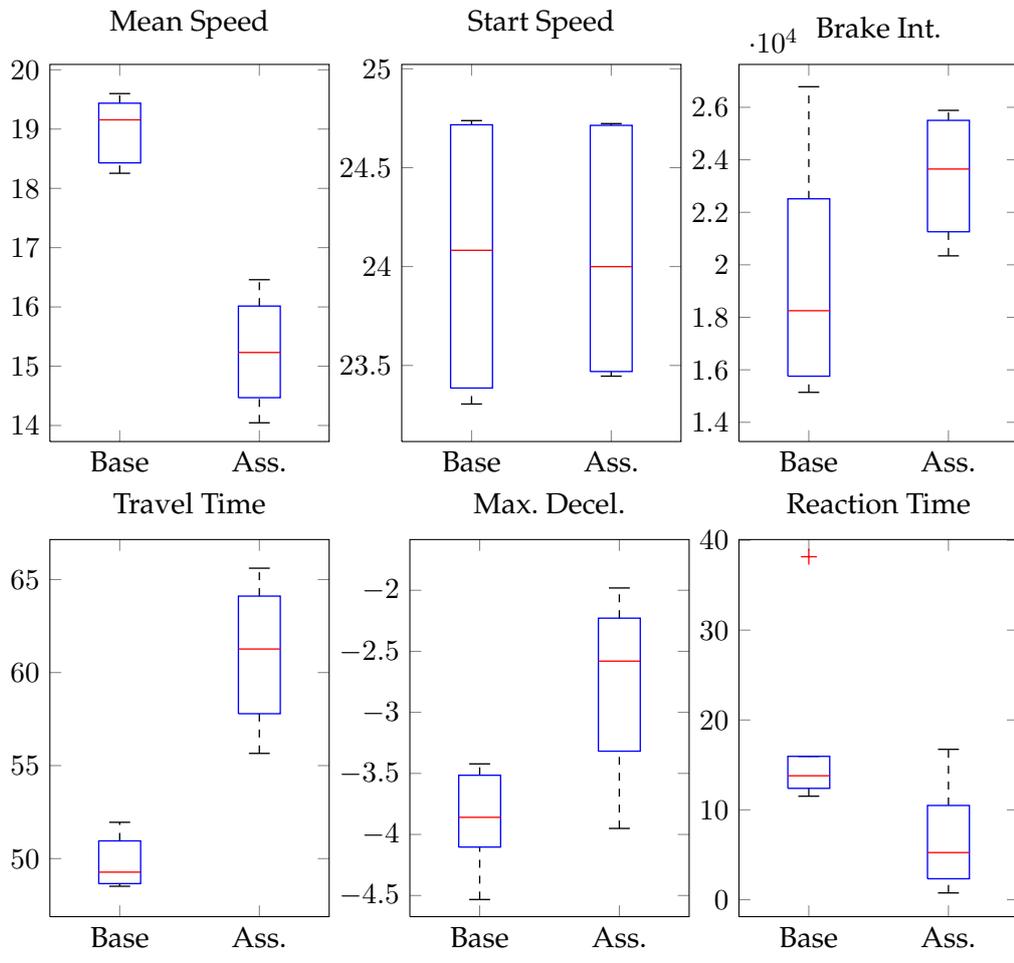


Abbildung 29: Metriken in Runde 2 für Target 2

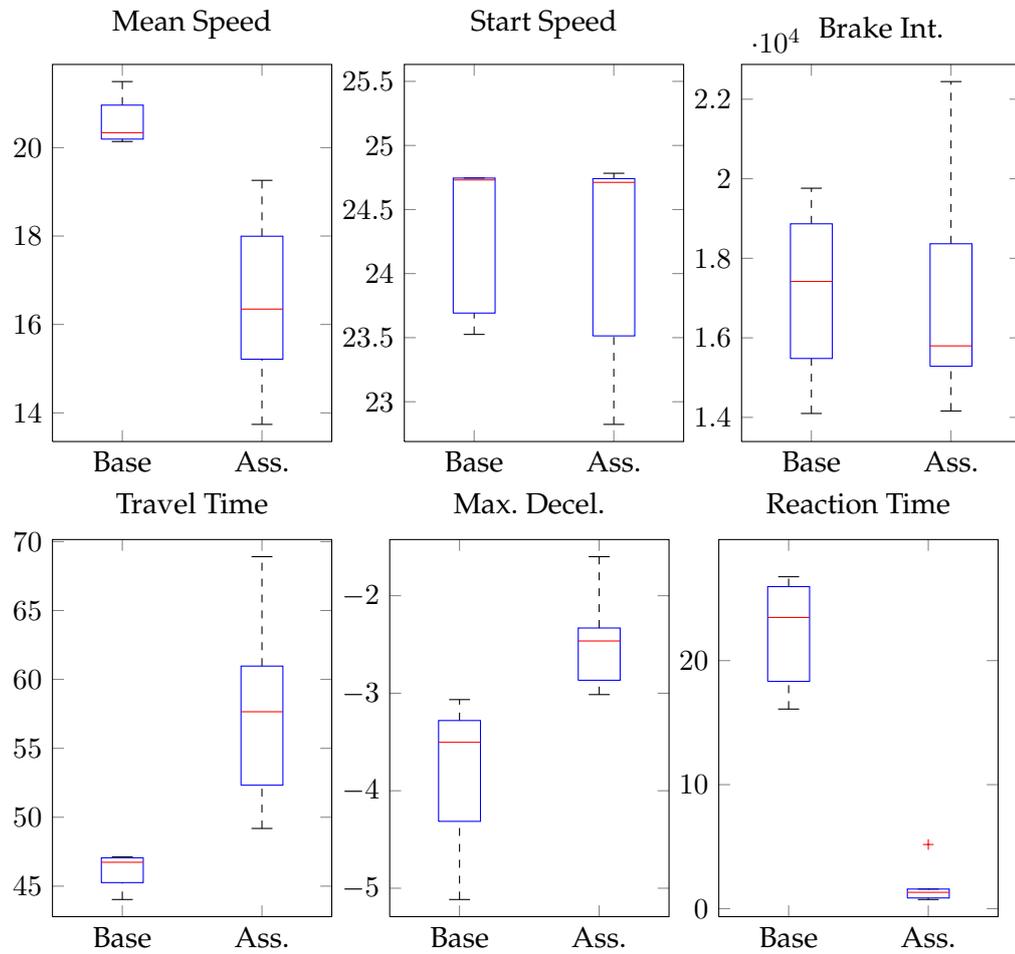


Abbildung 30: Metriken in Runde 4 für Target 1

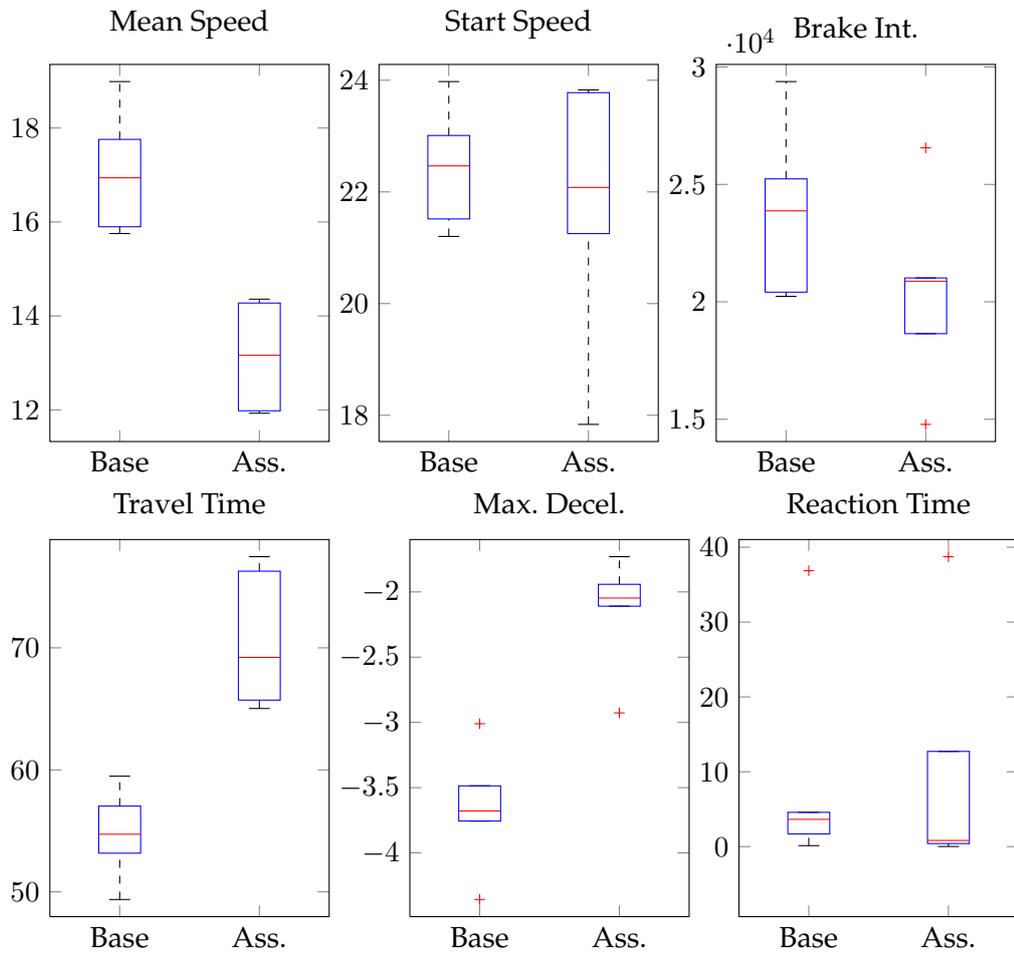


Abbildung 31: Metriken in Runde 7 für Target 3

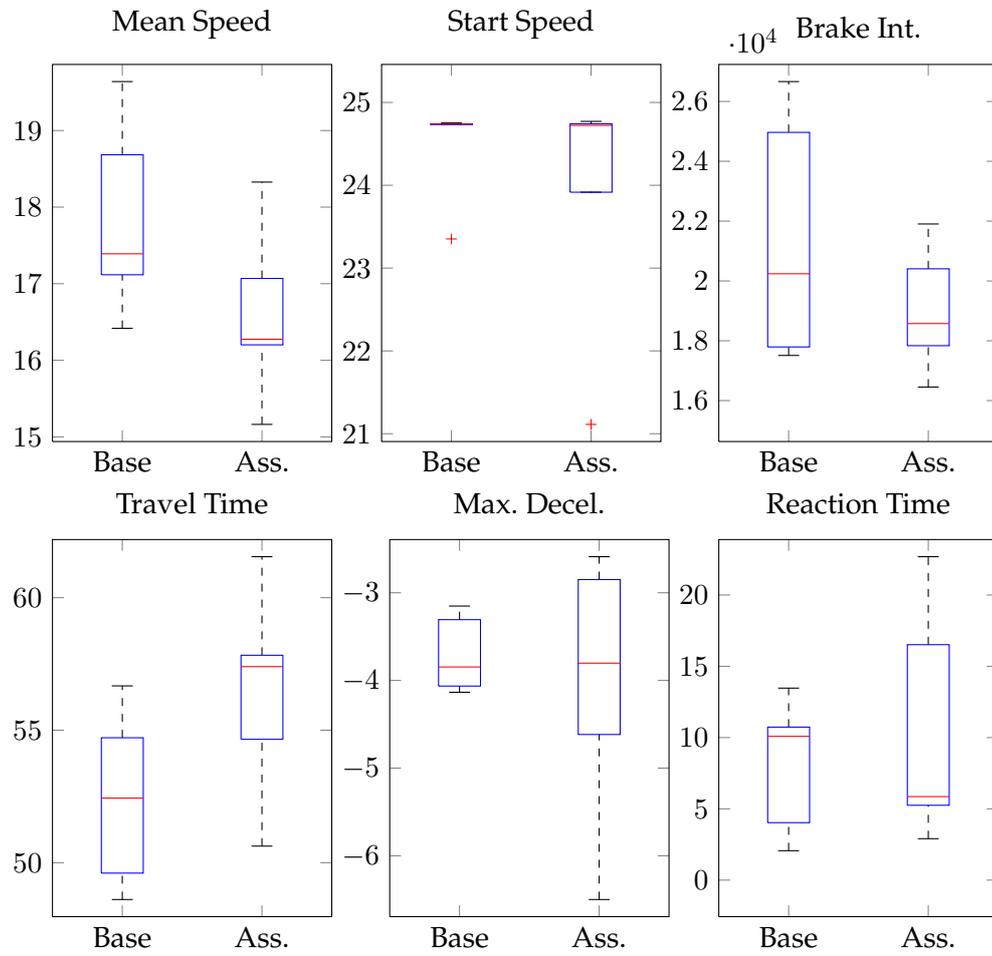


Abbildung 32: Metriken in Runde 9 für Target 2

## 6.2 Fragebogen

VP-Nr.:	Datum:
---------	--------

### Fragebogen zum Fahrversuch

- 1) Geschlecht:                     männlich         weiblich
- 2) Alter:                                \_\_\_\_\_ Jahre
- 3) Beruf:                                \_\_\_\_\_ (Ex. )
- 4) Jährl. Fahrleistung:  bis 5.000 km     5.000-10.000 km     10.000-15.000 km  
     15.000-20.000km                     über 20.000km

### Erstkontakt

- 1.1) Finden Sie die Anzeige optisch ansprechend?

←	→					
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr				

- 1.2) Haben Sie das System intuitiv verstanden?

←	→					
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	sehr				

- 1.3) Half Ihnen das System beim vorausschauenden Fahren?

←	→					
Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	sehr				

- 1.4) Bitte bewerten Sie das System möglichst spontan mit Hilfe der unten angegebenen Adjektiv-Paare. Wenn Sie keine Zuordnung treffen können oder das System neutral einstufen, kreuzen Sie bitte den Mittelpunkt der Skala an.

Das System ist ...

←	→					
angenehm	<input type="radio"/>	unangenehm				
träge	<input type="radio"/>	dynamisch				
innovativ	<input type="radio"/>	konservativ				
ablenkend	<input type="radio"/>	nicht ablenkend				
aufdringlich	<input type="radio"/>	zurückhaltend				
störend	<input type="radio"/>	nicht störend				
zweckmäßig	<input type="radio"/>	unzweckmäßig				

nicht hilfreich	<input type="radio"/>	hilfreich				
eindeutig	<input type="radio"/>	verwirrend				
macht Freude	<input type="radio"/>	frustrierend				
bevormundend	<input type="radio"/>	befreiend				
voraussagbar	<input type="radio"/>	unberechenbar				
dumm	<input type="radio"/>	intelligent				
belastend	<input type="radio"/>	entlastend				
besonders	<input type="radio"/>	gewöhnlich				
einfach	<input type="radio"/>	kompliziert				
plump	<input type="radio"/>	elegant				
übersichtlich	<input type="radio"/>	verwirrend				

1.5) Gab es Eigenschaften, die Ihnen besonders **gut** gefallen haben?

---



---



---

1.6) Gab es Eigenschaften, die Ihnen besonders **schlecht** gefallen haben?

---



---



---

1.7) Haben Sie weitere Vorschläge oder Anmerkungen?  
Bitte notieren Sie diese hier:

---



---



---

## Hauptversuch

2.1) Würden Sie das System in Ihrem Fahrzeug benutzen?

Auf keinen Fall	<input type="radio"/>	Auf jeden Fall				
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	----------------

2.2) Finden Sie die Anzeige optisch ansprechend?

Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	Sehr				
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------

2.3) Haben Sie das System intuitiv verstanden?

Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	sehr				
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------

2.4) Half Ihnen das System beim vorausschauenden Fahren?

Überhaupt nicht	<input type="radio"/>	sehr				
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------

2.5) Bitte bewerten Sie das System möglichst spontan mit Hilfe der unten angegebenen Adjektiv-Paare. Wenn Sie keine Zuordnung treffen können oder das System neutral einstufen, kreuzen Sie bitte den Mittelpunkt der Skala an.

Das System ist ...

angenehm	<input type="radio"/>	unangenehm				
träge	<input type="radio"/>	dynamisch				
innovativ	<input type="radio"/>	konservativ				
ablenkend	<input type="radio"/>	nicht ablenkend				
aufdringlich	<input type="radio"/>	zurückhaltend				
störend	<input type="radio"/>	nicht störend				
zweckmäßig	<input type="radio"/>	unzweckmäßig				
nicht hilfreich	<input type="radio"/>	hilfreich				
eindeutig	<input type="radio"/>	verwirrend				
macht Freude	<input type="radio"/>	frustrierend				

bevormundend	<input type="radio"/>	befreiend				
voraussagbar	<input type="radio"/>	unberechenbar				
dumm	<input type="radio"/>	intelligent				
belastend	<input type="radio"/>	entlastend				
besonders	<input type="radio"/>	gewöhnlich				
einfach	<input type="radio"/>	kompliziert				
plump	<input type="radio"/>	elegant				
übersichtlich	<input type="radio"/>	verwirrend				

2.6) Gab es Eigenschaften, die Ihnen besonders **gut** gefallen haben?

---



---



---

2.7) Gab es Eigenschaften, die Ihnen besonders **schlecht** gefallen haben?

---



---



---

2.8) Haben Sie weitere Vorschläge oder Anmerkungen zu dem System?  
Bitte notieren Sie diese hier:

---



---



---



---

**Vielen Dank für die Teilnahme!**

### 6.3 Matlab Datenauswertung

Während des Versuchs wurden die Daten in CSV (Comma Separated Values) Dateien gespeichert. Hierbei enthält die erste Zeile die Namen aller Spalten, alle darauffolgenden Zeilen entsprechen jeweils einem Zyklus der Software, die mit einer Wiederholrate von 64 Hz arbeitet. Diese Dateien können direkt von Matlab eingelesen und in den Workspace gespeichert werden. Die bereits aufbereiteten Daten sind in der Datei `workspace.mat` enthalten.

Nachdem diese Datei geladen wurde, befinden sich im Workspace unter anderem die Structs `input_data_assisted` und `input_data_baseline`, die ihrer Bezeichnung entsprechend die aufbereiteten Datensätze der assistierten und nicht assistierten Fahrer enthalten. In beiden Structs sind die Datensätze der jeweiligen Fahrer enthalten, in denen wiederum die Struktur `rounds_raw` enthalten ist. Darin existiert für jede Runde eine Matrix, die der Struktur der Logdateien entspricht. Zusätzlich wurde noch eine 13. Spalte aus den Daten erzeugt, die den Streckenmeter für jedes Sample enthält.

Die Variable `target_positions` hält die Streckenmeter der jeweiligen Hindernisse. In `track` ist der Streckenverlauf in kartesischen Koordinaten mit zusätzlichem Streckenmeter hinterlegt.

Des Weiteren sind im `Analyse` - Ordner mehrere Skripte zur Auswertung enthalten. Manche benötigen zur Ausführung die Skripte aus dem Unterordner `extrema`, der daher dem Pfad hinzugefügt werden sollte. Um die Fahrdynamikdaten für eine Runde und ein bestimmtes Hindernis auswerten zu lassen, kann das Skript `analyse_speeds` benutzt werden. Für eine Auswertung der 7. Runde und dem Hindernis T3 wird folgender Aufruf gemacht:

```
analyse_speeds(input_data_baseline,input_data_assisted,7,3,1000);
```

Die Analyse würde dann für die letzten 1000 m vor dem Hindernis durchgeführt werden.

Auch die Fragebögen können mit Matlab ausgewertet werden. Die Dateien hierfür sind im Ordner `Fragebögen` abgelegt. Hier muss ebenfalls zunächst der Workspace aus der Datei `matlab.mat` importiert werden, die Auswerteskripte befinden sich im gleichen Ordner. Das Skript `analyze_questionnaires` wird ohne Parameter ausgeführt und erzeugt sämtliche Ergebnisse und Grafiken.



## Literatur

- [Laquai11-1] LAQUAI F., CHOWANETZ F., RIGOLL G.: *A large-scale LED array to support anticipatory driving*. In Proceedings of IEEE Systems Men and Cybernetics, Anchorage, 2011.
- [Laquai11-2] LAQUAI F., DUSCHL M., RIGOLL G.: *Impact and modeling of driver behavior due to cooperative assistance systems*. In Proceedings of the Third international conference on Digital human modeling, pp. 473-482, Orlando 2011.
- [Laquai10] LAQUAI F., RIGOLL G., DUSCHL M., POPIV D., RAKIC M.: *Geschwindigkeitsbeeinflussung durch großflächige abstrakte optische Anzeigen*. In Tagungsband zu „Sicherheit durch Fahrerassistenz“, München, 2010.
- [Popiv10] POPIV D., BENGLER K., RAKIC M., DUSCHL M., LAQUAI F.: *Reduction of fuel consumption by early anticipation and assistance of deceleration phases*. In Proceedings of Fisita 2010, Budapest, 2010.
- [Popiv09] POPIV D., RAKIC M., BENGLER K., BUBB H., NESTLER S.: *Timing Concept for Assistance of Anticipatory Driving*. In Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics (IEA 2009), Beijing (China), 2009.
- [Nestler09] NESTLER S., DUSCHL M., POPIV D., RAKIC M., KLINKER G.: *Concept for visualizing concealed objects to improve the driver's anticipation*. In Proceedings of the 17th World Congress on Ergonomics (IEA 2009), Beijing (China), 2009.
- [Nagel92] NAGEL, K. AND SCHRECKENBERG, M.: *A cellular automaton model for free-way traffic*. In Journal de Physique I, Volume 2, Number 12, Pages 2221 - 2229, 1992.
- [Laquai11] LAQUAI, F., CHOWANETZ, F. AND RIGOLL, G.: *A large-scale LED array to support anticipatory driving*. In Proceedings of IEEE Systems Men and Cybernetics (SMC 2011), Anchorage, AK, USA, pp. 543-548. IEEE 2011.