

Evaluation von Lenkassistenzsystemen und Simulatoren für Fahrzeuge mit Anhänger

Studienarbeit
im Studiengang Informatik

vorgelegt von:

Tobias Kippert

201210250

Betreuer: Dipl.-Inf. Uwe Berg
Prof. Dr. Dieter Zöbel

Koblenz, im Juni 2007

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mit der Einstellung der Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden.

Der Veröffentlichung dieser Arbeit im Internet stimme ich zu.

.....
(Ort, Datum)

.....
(Unterschrift)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziele der Arbeit	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Belastung und Beanspruchung des Fahrers durch FAS	4
3	Technische Evaluationsumgebungen	7
3.1	Optisches Lenkassistenzsystem	7
3.2	Simulator	9
3.3	PC-Version	14
4	Durchführung der Evaluation	16
4.1	Auswahl der Probanden	16
4.2	Ablauf der Evaluation	17
4.3	Messung der Fahrerbelastung und -beanspruchung	18
4.3.1	Messung des Hautwiderstandes	19
4.3.2	Pulsmessung	20
4.3.3	Videoaufzeichnung	21
4.4	Befragung der Probanden	21
4.5	Testfahrten mit Probanden im Simulator	23
4.6	Testfahrten mit Probanden mit der PC-Version	24

5	Auswertung der Evaluation	25
5.1	Statistische Grundlagen	25
5.2	Objektive Bewertung der Testfahrten	26
5.2.1	Auswertung des Fragebogens <i>Vor der Fahrt</i>	26
5.2.2	Auswertung des Fahrtablaufs	27
5.2.3	Auswertung der Herzfrequenzdiagramme	34
5.3	Subjektive Bewertung durch die Testteilnehmer	35
5.4	Subjektive Bewertung durch Fahrlehrer für den Einsatz in der Ausbildung	38
6	Schlusswort	42
6.1	Zusammenfassung	42
6.2	Bewertung	43
6.3	Ausblick	44
	Anhang	44
	A Fragebögen	45
	B Checkliste	63
	Literatur	65

Abbildungsverzeichnis

1.1	Eingeschränkte Sicht eines Gespanns in einer Linkskurve (a) und in einer Rechtskurve (b).	2
2.1	Aufnahmekapazitäten der Sinneskanäle.	6
3.1	Kinematisches Modell eines Zugfahrzeugs mit Starrdeichselanhänger. . .	7
3.2	Arbeitsweise der HMI.	8
3.3	Gezieltes Erreichen eines Fahrzieles in den drei Phasen anvisieren (a), einknicken/ausrichten (b) und stabilisieren (c).	9
3.4	Software-Architektur des Simulators.	10
3.5	Simulator-Fahrstand.	10
3.6	Fahrsimulation aus Fahrersicht, bestehend aus der Sicht durch die Windschutzscheibe und den linken und rechten Außenspiegeln.	11
3.7	Der Weg zur Simulation.	11
3.8	3D-Welt mit Speditionshof.	12
3.9	Hinweisschilder.	13
3.10	Informationsbedarf in Bezug auf Fahrzeuggeräusche.	13
3.11	PC-Version des Fahrsimulators.	14
3.12	Sichten der PC-Version.	15
4.1	Probandenstruktur.	16
4.2	Relaxo-Trainer 2000.	19
4.3	Pulsmesser Polar S610i.	20
4.4	Pulsdiagrammbeispiel.	20
5.1	Protokollierung des Fahrtablaufs für die Fahrt mit Sattelanhänger und mit Einachsanhänger.	28
5.2	Pulsdiagramm eines Probanden mit erkennbarer Beruhigung des Pulses. .	34

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Das Rückwärtsfahren von Fahrzeugen mit Anhänger gestaltet sich als besonders schwierig, da das kinematische Verhalten solcher Gespanne sehr komplex und nur schwer zu beherrschen ist. Laut Auswertung einer Befragung von Berufskraftfahrern wurden folgende drei Punkte als besonders problematisch bei der Rückwärtsfahrt mit Gespannen gewertet (siehe [Berg, 2006a] und [Berg, 2006b]).

Eingeschränkte Sicht Die Sicht auf den seitlichen und hinteren Fahrzeugbereich ist sehr eingeschränkt. Die für den Fahrer einsehbaren Bereiche des Fahrzeugumfeldes in einer Links- bzw. in einer Rechtskurve sind in Abb. 1 (a) bzw. (b) dargestellt. Der gestrichelte Bereich ist jeweils der Bereich, der vom Fahrer nicht einsehbar ist.

Ungewohnte Situation / Erfahrungsmangel Die meiste Zeit verbringt der Fahrer eines Gespanns mit der Vorwärtsfahrt. Die Rückwärtsfahrt entspricht in Relation zur gesamten Fahrzeit nur einem sehr geringen Teil.

Unlogisches Lenkverhalten Die Lenkrichtungen bei der Rückwärtsfahrt eines Gespanns können sehr unlogisch sein. Ist z.B. ein Zugfahrzeug mit Starrdeichselanhänger gerade ausgerichtet und der Fahrer möchte das Gespann in einer Linkskurve zurücksetzen, so muss das Zugfahrzeug zunächst nach rechts gesteuert werden. Erst wenn der Anhänger die gewünschte Fahrtrichtung eingenommen hat, wird das Zugfahrzeug in die ursprünglich gewünschte Fahrtrichtung gelenkt.

Diese Problematiken sind auch der Automobil- und Zulieferindustrie bekannt. Daher werden im Zubehörhandel diverse technische Hilfsmittel wie z.B. Rückfahrkamerasysteme angeboten, die an der Rückseite des Anhängers befestigt werden. Mit Hilfe einer Rückfahrkamera kann der Fahrer zwar den rückwärtigen Bereich seines Anhängers beobachten, er erhält jedoch keinerlei Unterstützung bei der Steuerung seines Gespanns. Das im Handel erhältliche Zubehör führt also nicht zu einer Vereinfachung des Steuerungsprozesses.

Es bestehen zudem erhebliche Mängel bei der Fahrerausbildung. So besitzen lediglich

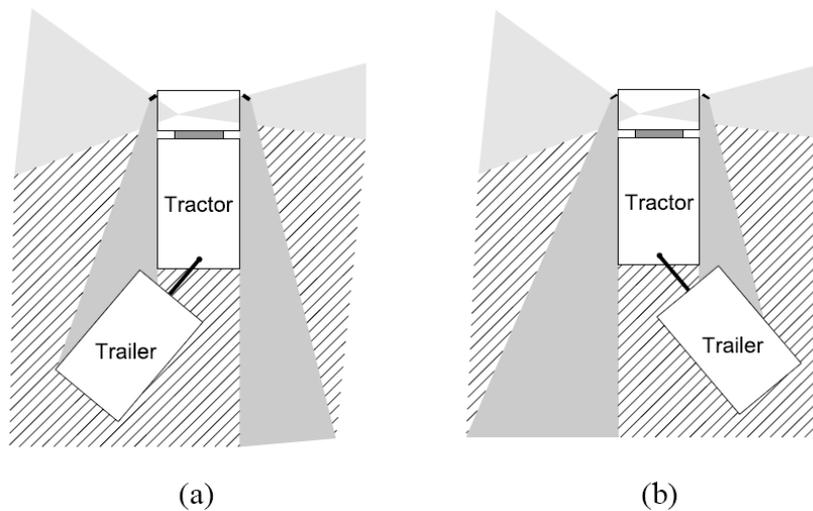


Abbildung 1.1: Eingeschränkte Sicht eines Gespanns in einer Linkskurve (a) und in einer Rechtskurve (b).

5% bis 10% aller professionellen Kraftfahrer eine Ausbildung zum Berufskraftfahrer (vgl. [Ellinghaus, 2002], Seite 14).

Um die Fahrer von Fahrzeugen mit Anhänger bei der Rückwärtsfahrt zu unterstützen, wurden in der Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme von Prof. Dr. Dieter Zöbel im Projekt EZlenk Lenkassistenzsysteme entwickelt, die diesen Problemen entgegenwirken sollen. Lenkassistenzsysteme sind Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer bei der Steuerung seines Gespanns unterstützen.

Da der optische Wahrnehmungskanal von Fahrern am stärksten ausgeprägt ist und bevorzugt genutzt wird [Berg, 2007], soll im Rahmen dieser Studienarbeit das in der Arbeitsgruppe entwickelte optische Lenkassistenzsystem (LAS) auf Nutzen und Alltagstauglichkeit getestet werden. Das optische Lenkassistenzsystem wurde in einem 3D-Fahrsimulator und einer PC-Version implementiert, damit auf diesen das Lenkverhalten von Gespannen erlernt und trainiert werden kann. Hierzu stehen verschiedene Arten von Nutzfahrzeugen mit Anhänger zur Verfügung, mit denen die Grundfahraufgaben oder gar ganze Szenarien absolviert werden können.

Da insbesondere Fahranfänger und Fahrschüler mit dem komplizierten Lenkprozess bei der Rückwärtsfahrt mit Gespannen überfordert sind, können diese sich mit Hilfe des Simulators mit den kinematischen Eigenschaften unterschiedlicher Fahrzeugtypen vertraut machen und ihre Motorik zur Steuerung der Fahrzeuge sensibilisieren. Deshalb liegt bei der vorliegenden Studienarbeit auch der Schwerpunkt bei der Analyse der Gebrauchstauglichkeit des optischen Lenkassistenzsystems und des Simulators an sich.

1.2 Ziele der Arbeit

Das in der Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme im Projekt EZlenk entwickelte optische Lenkassistenzsystem zur Unterstützung der Rückwärtsfahrt von Fahrzeugen mit Anhänger soll im Rahmen dieser Studienarbeit auf seine Alltagstauglichkeit getestet werden. Ferner

wurden die Implementierungen des Lenkassistentensystems auf einem Fahrsimulator und einer PC-Version von Probanden evaluiert. Hierbei sollen mithilfe von Berufskraftfahrern, Fahrlehrern und Laien Schwachstellen, Stärken, genereller Nutzen, eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten, Realitätsnähe und Auswirkungen auf den Fahrer bzw. Benutzer sowohl im Fahrsimulator als auch in der PC-Version herausgefunden werden. Zugrunde liegend seien hier die anerkannten Kriterien Effizienz, Effektivität und Zufriedenheit genannt (siehe [ISO 9241-11] und [K(1999) 4786]).

Außerdem werden beide Implementierungsarten des Simulators sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung des Lenkassistentensystems in Hinblick auf die Alltagstauglichkeit für die Kraftfahrerausbildung in Fahrschulen diskutiert.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn dieser Studienarbeit wird generell auf die auftretenden Probleme beim Rückwärtsfahren eingegangen. Auch die Belastungen und Beanspruchungen des Fahrers, die durch Fahrerassistenzsysteme verursacht werden, werden erläutert. Danach werden die technischen Evaluationsumgebungen vorgestellt. Hierbei werden sowohl das optische Lenkassistentensystem, als auch die Implementationsvarianten Simulator und PC-Version technisch erklärt.

Nachdem die Kriterien zur Auswahl der Probanden erläutert wurden, wird der generelle Ablauf der Evaluation beschrieben. Dies beinhaltet den Ablauf der einzelnen Testfahrten mit den Probanden im Simulator, die hierbei gemessene Fahrerbelastung und -beanspruchung, die Testfahrt mit den Probanden mit der PC-Version als auch die Befragung der Versuchspersonen, die vor und nach den Fahrten stattgefunden hat.

Den Kern dieser Studienarbeit bildet dann die Auswertung der Evaluation. Zunächst werden in diesem Kapitel statistische Grundlagen vermittelt, so dass dann danach mit der objektiven Bewertung der Testfahrten fortgefahren werden kann. Hierbei werden der Fragebogen „Vor der Fahrt“, der jeweilige Fahrtablauf und die Fahrerbelastung mittels der gemessenen Pulsfrequenzen genauer analysiert. Anschließend wird die subjektive Bewertung durch die Testteilnehmer ausgewertet. Ein Schwerpunkt bildet hierbei die Bewertung durch die Fahrlehrer für den Einsatz der getesteten Systeme im Rahmen der Ausbildung. Am Schluß dieser Studienarbeit erfolgt eine Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse, sowie ein abschließender Ausblick.

Kapitel 2

Belastung und Beanspruchung des Fahrers durch FAS

Unter psychischer Belastung wird die „Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“, verstanden. Unter psychischer Beanspruchung hingegen versteht man „die zeitlich unmittelbare und nicht langfristige Auswirkung der psychischen Belastung auf die Einzelperson in Abhängigkeit von ihren eigenen habituellen und augenblicklichen Voraussetzungen einschließlich der individuellen Auseinandersetzungsstrategien“ (vgl. [Urbas, 2005]). Psychische Belastung wirkt damit von außen auf alle Menschen gleichermaßen ein. Aufgrund verschiedener Verarbeitungsstrategien und Voraussetzungen resultiert darauf bei jedem Menschen eine individuell unterschiedliche Beanspruchung.

Zur Beurteilung der Fahrerbelastung und Fahrerbeanspruchung wurde im Rahmen des Projektes EMPHASIS (Effort-Management and Performance Handling in sicherheitsrelevanten Situationen) des interdisziplinären Zentrums für Verkehrswissenschaften der Universität Würzburg (vgl. [Buld, 2002]) die Wirkung von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit untersucht. Diese Auswirkungen zeigen sich im Verhalten der Fahrer, in ihrer Auswirkung auf die energetische Regulation (Beanspruchung/Workload) und in der Art und Weise wie diese Systeme und ihre Funktionen beim Fahrer repräsentiert sind (kognitiver Bereich). Im Rahmen dieses Projektes wurde die Fahrerbelastung anhand zweier Fahrerassistenzsysteme untersucht. Das Adaptive Cruise Control ist eine Erweiterung der Geschwindigkeitsregelanlage und ist ein automatisch eingreifendes System. Das zweite Assistenzsystem ist der Spurhalteassistent Heading Control, welcher den Fahrer vor einem Verlassen der Fahrspur warnt. Es ist somit ein informierendes System. Auf einem Fahrparcours wurden diese beiden Assistenzsysteme gegeneinander geprüft. Hierbei ergab sich unter dem Aspekt der Fahrerbelastung und Fahrerbeanspruchung, dass informierende Systeme den Fahrer deutlich mehr beanspruchen als automatisch eingreifende Systeme. Diese wurden von allen Probanden sogar als entlastend eingestuft. Die durch die automatisch agierenden Systeme freigewordenen kognitiven Ressourcen der Fahrer wurden häufig dazu eingesetzt, sich nicht-fahrtbezogenen Aufgaben zu widmen.

Michon (vgl. [Michon, 1989]) beschreibt die Tätigkeiten des Fahrers mittels der in der folgenden Tabelle dargestellten Hierarchie der Fahraufgaben.

Hierarchie der Fahraufgaben nach Michon

VERHALTENSEBENE	AUFGABENEBENE	BEISPIEL
Autonom	Reaktiv	Querstabilisierung
Skillbasiert	Kontrollierend	Längsstabilisierung
Regelbasiert	Manövrierend	Überholen
Wissensbasiert	Strategisch	Navigationsverhalten

Von der Verhaltensebene *Autonom* bis *Wissensbasiert* nimmt die Beanspruchung des Fahrers zu. Auch Praxenthaler (vgl. [Praxenthaler, 2003]) kommt zu dem Ergebnis, dass man davon ausgehen könne, dass je höher der Anteil der regel- und wissensbasierten Komponenten an der Fahraufgabe ist, umso höher sich auch die Beanspruchung des Fahrers erweist. Gerade bei Fahranfängern sei diese hierarchische Verhaltenskontrolle noch nicht in entsprechendem Maße ausgebildet. Erst mit zunehmender Übung gelinge es dem Fahranfänger, die Kontrolle von Aktivitäten, wie zum Beispiel das Einlegen eines Ganges, auf die autonome Fertigkeitsebene zu transferieren, so dass von einer automatischen Abarbeitung dieser Tätigkeit ausgegangen werde.

Die Beanspruchung von Fahrern kann nach Johannsen (vgl. [Johannsen, 1993]) anhand von vier Kriterien erfasst werden.

Zeit- und Bewegungsstudien: Diese Studien sind klassische ergonomische Methoden, mittels derer die Zeiten für Handlungs- und Bewegungsabläufe ermittelt werden.

Betrachtung des Menschen als informationsverarbeitendes System: Es wird davon ausgegangen, dass der Mensch nur eine begrenzte Informationsverarbeitungskapazität besitzt. Diese Auslastung ist wiederum nicht direkt messbar. Die mentale Restkapazität wird daher mittels der erbrachten Leistung in simultan auszuführenden Nebenaufgaben gemessen.

Physiologische Messmethoden: Um den Aktivierungsgrad des Menschen als Beanspruchungsindikator zu nehmen, werden physiologische Größen wie Blutdruck oder Herzfrequenz herangezogen.

Subjektive Bewertungen der Beanspruchung: Die Probanden sollen hinsichtlich der zurückliegenden Aufgabensituation ihre Beanspruchung anhand von Bewertungsskalen selbst beurteilen, um eine retrospektive Selbsteinschätzung zu erhalten.

Erfahrungen aus früheren Evaluationen haben gezeigt, dass 90 Prozent aller Informationen über den visuellen Kanal aufgenommen werden. Andere Sinnesorgane nehmen also nur 10 Prozent der Informationen auf. Dieses wird auch in der Abbildung 2.1 dargestellt. Schematisch werden hier die Aufnahmegeschwindigkeiten anhand von MBit/s angegeben. Der visuelle Kanal ist hierbei der schnellste Aufnahmekanal. Der haptische Kanal ist wesentlich langsamer, aber der olfaktorische, der gustatorische und der auditive Kanal sind, verglichen mit dem visuellen Kanal, extrem langsam. Visuell ist ein Fahrer also erheblich belastbarer als zum Beispiel haptisch (vgl. [Tiltmann, 2007]). Dieses zeigen auch Erfahrungen bei Tests eines haptischen Assistenzsystems der Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme. Bei diesem Assistenzsystem soll der Fahrer haptisch durch eine Kraftrückkopplung im Lenkrad vor gefährlichen Lenkwinkeln gewarnt werden. Diese Kraftrückkopplung wurde von den Probanden manchmal nur unterbewusst wahrgenommen.

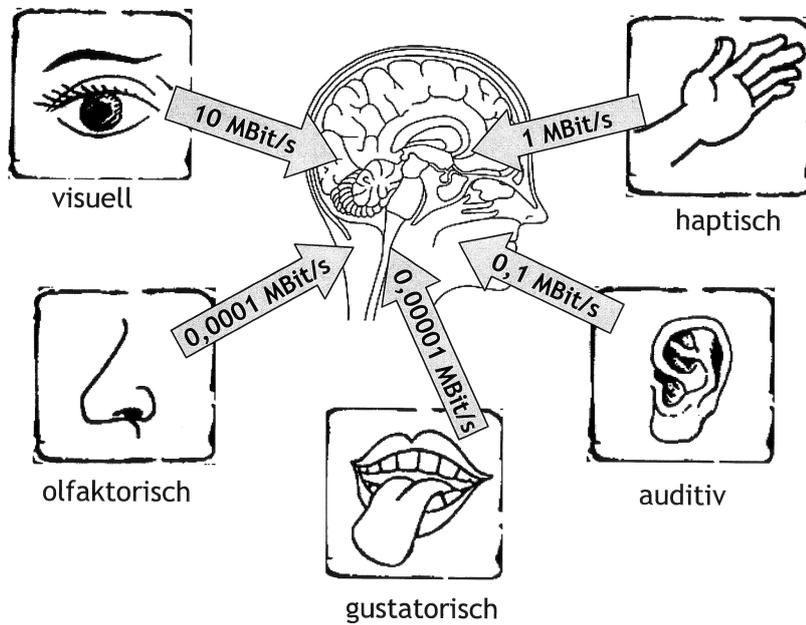


Abbildung 2.1: Aufnahmekapazitäten der Sinneskanäle.

Die von den Sensoren erfassten Informationen über den Fahrzeugstatus werden von der Logikeinheit des Lenkassistentensystems analysiert und an die Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) weitergegeben. Diese bildet die Schnittstelle von der Logik des Systems hin zum Fahrer des Gespanns (vgl. Abb. 3.2) und errechnet die drei Trajektorien. Die einzelnen Trajektorien bilden die Kreisbahn ab, auf der die drei Fahrzeugeinheiten Zugmaschine, Anhänger und gesamtes Gespann mit dem aktuellen Fahrzeugstatus fahren werden.

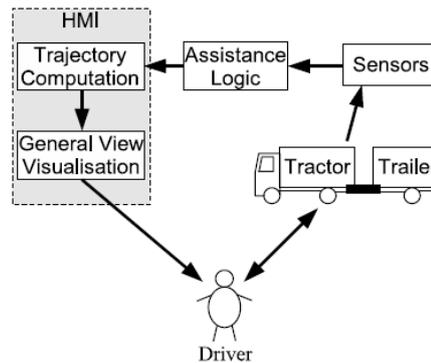


Abbildung 3.2: Arbeitsweise der HMI.

Zur Vereinfachung des Lenkassistentensystems für den Benutzer wurden die Trajektorien auf zwei reduziert. Ausführliche Tests nach [Berg, 2006a] zeigten, dass die Trajektorie des Zugfahrzeuges und die des gesamten Gespanns die wichtigsten Informationen zur Benutzung des Lenkassistentensystems vermitteln. Hierzu werden die Trajektorien auf Fahrbahnhöhe in das Bild der Rückfahrkamera eingeblendet. Die beiden Trajektorien reagieren während der Fahrt in Echtzeit, so dass das Lenkassistentensystem (LAS) neben der Zustandserkennung die Möglichkeit bietet, ein Fahrziel anzuvisieren und mit hoher Präzision zu erreichen. Lenkfehler können so frühzeitig erkannt und korrigiert werden, bevor das Gespann in den Zustand eines gefährlichen Einknickwinkels gerät (vgl. [Berg, 2006a] und [Berg, 2007]).

Der Fahrer kann die Zustände *stabil*, *beschränkt*, *einknickend* und *ausrichtend* unterscheiden.

stabil Das Zugfahrzeug und der Anhänger fahren auf konzentrischen Kreisbahnen.

beschränkt In diesem Zustand kann das Gespann durch Rückwärtsfahrt nicht mehr gerade gelenkt werden. Es knickt immer stärker ein.

einknickend Während der Rückwärtsfahrt wird der Betrag des Einknickwinkels γ stets größer.

ausrichtend Während der Rückwärtsfahrt wird der Betrag des Einknickwinkels γ stets kleiner.

Die Funktionsweise des LAS soll mittels der abgebildeten Schritte in Abb. 3.3 verdeutlicht werden.

Die Trajektorie des Gespanns stellt den Fahrweg von Zugfahrzeug und Anhänger auf einer

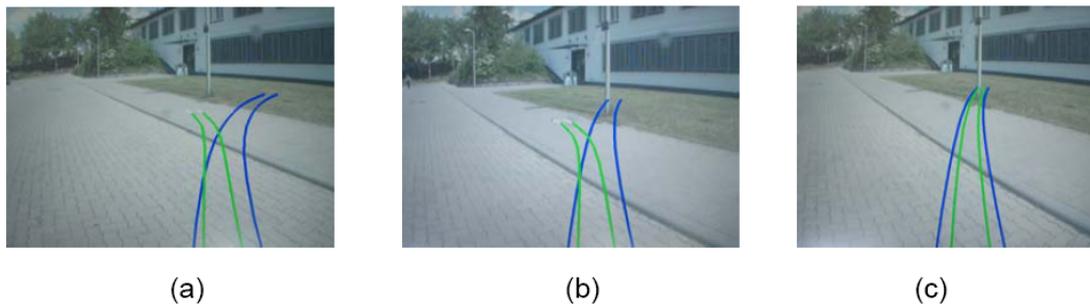


Abbildung 3.3: Gezieltes Erreichen eines Fahrzieles in den drei Phasen anvisieren (a), einknicken/ausrichten (b) und stabilisieren (c).

Länge von 20 Metern dar, wenn der aktuell anliegende Einknickwinkel konstant bleiben und das Gespann sich damit in einem stabilen Zustand befinden würde. Die Trajektorie des Anhängers stellt den zukünftigen Fahrweg des Anhängers auf einer Länge von 10 Metern dar.

Soll das Gespann nun rückwärts in Richtung Laterne in Abbildung 3.3(a) manövriert werden, so muss der Fahrer die Trajektorie des Anhängers (grün) nun so mit dem Lenkrad positionieren, dass die Laterne sich zwischen den beiden Trajektorien befindet. Die Trajektorie des gesamten Gespanns (blau) besteht aus 2 Linien, die die gesamte Fahrzeugbreite darstellen. Im Abbildungsteil (b) bewegt sich nun die Trajektorie des Gespanns während der Rückwärtsfahrt in Richtung der Anhängertrajektorie. Dieser Zusammenhang kann metaphorisch mit einem Gummiband verglichen werden, welches zwischen den beiden Trajektorien gespannt wird. Durch das virtuelle Gummiband wird die Trajektorie des Gespanns in die Richtung des Fahrziels gezogen. Je stärker dieses Gummiband gespannt ist, desto schneller bewegt sich die Gespanntrajektorie in Richtung der Anhängertrajektorie. Wenn die Trajektorie des Gespanns auf das gewünschte Fahrziel zuläuft (in unserem Fall die Laterne), wird die Anhängertrajektorie durch Drehen des Lenkrades mittig auf die Gespanntrajektorie gelegt (vgl. Abbildung 3.3(c)). Das Gespann fährt anschließend auf einer konstanten Kreisbahn auf das anvisierte Ziel zu.

3.2 Simulator

Um das oben beschriebende optische LAS zu implementieren, wurde ein Simulator mit einer virtuellen 3D-Umgebung entwickelt. Dieser besteht aus einem Fahrstand mit Kabinenrechner, einem Serverrechner und 2 Clientrechnern, die verschiedene Sichten der Simulation bereitstellen. Die Software-Architektur wird durch Abbildung 3.4 verdeutlicht. Die Softwarearchitektur des Simulators ist in einen Server, der die Simulation überwacht, und mehrere Clients, die verschiedene Sichten erstellen, aufgeteilt. Diese Einheiten kommunizieren mittels TCP/IP über den Ereignis-Router (event router process). Die anderen Komponenten des Serverprozesses und der Clientprozesse sind, da diese auf insgesamt 4 Rechner verteilt sind, mit dem Ereignisverteiler (event dispatcher) verbunden. So existieren z.B. Unterprozesse für die Visualisierung, die Ein- und Ausgabe (dieser kommuniziert wiederum mit der Fahrerkabine) und die Erstellung des Fahrzeuges mit den im vorherigen Kapitel beschriebenen kinematischen Voraussetzungen (vgl. [Berg, 2006b]).

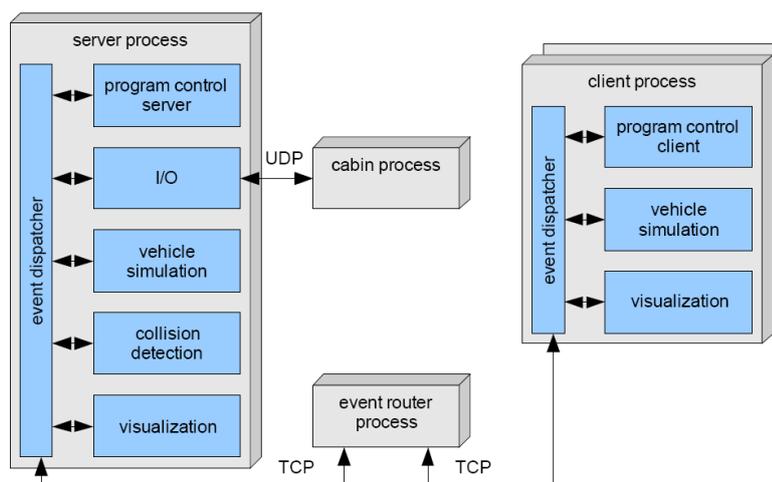


Abbildung 3.4: Software-Architektur des Simulators.

Der LKW-Fahrstand besteht aus Originalteilen eines Mercedes-Benz Actros-LKW mit Lenkrad, Pedalerie (Bremse, Gas), einem Armaturenbrett mit digitalen Anzeigeinstrumenten, einem LKW-Fahrersitz und einer halbautomatischen Tiptronic-Schaltung. Die Sicht aus der Windschutzscheibe wird mittels eines Beamers auf eine Leinwand projiziert. Links und rechts neben der Fahrerkabine sind 2 19“-TFT-Displays befestigt, die den linken bzw. rechten Außenspiegel simulieren. Auf dem Armaturenbrett ist noch ein kleines Display befestigt, auf dem das Bild der Rückfahrkamera und die optische Lenkassistentz ausgegeben werden. Der gesamte Simulator-Fahrstand ist in Abbildung 3.5 zu sehen. In den Cockpit-Displays werden Informationen über Motordrehzahl, eingelegter Gang, Kraftstofffüllstand und Geschwindigkeit angezeigt.



Abbildung 3.5: Simulator-Fahrstand.

In Abbildung 3.6 sind alle Außenspiegel und der Blick aus der Windschutzscheibe ab-

gebildet. Auf jeder Seite gibt es einen normalen Rückspiegel sowie jeweils einen Weitwinkelspiegel. In das Display des rechten Außenspiegels ist zusätzlich das Bild eines Rampenspiegels integriert. Die größte Ansicht ist die Windschutzscheibe. In diese Sicht ist links oben nochmals eine rudimentäre Version der optischen Lenkassistentz eingeblendet.

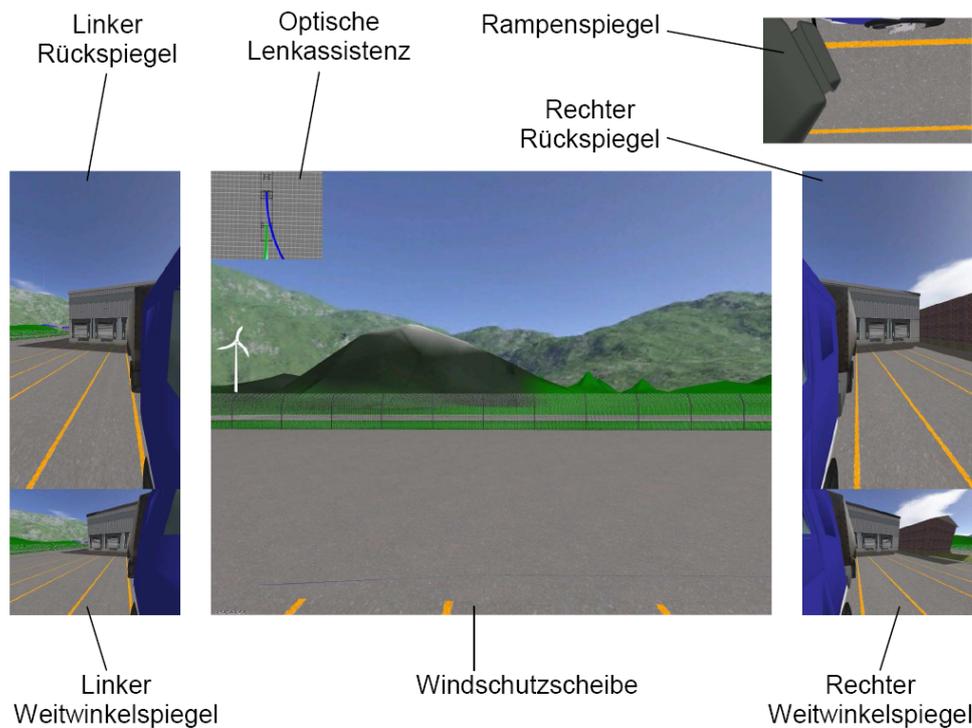


Abbildung 3.6: Fahrsimulation aus Fahrersicht, bestehend aus der Sicht durch die Windschutzscheibe und den linken und rechten Außenspiegeln.

Die 3D-Welt wurde mit dem Grafikprogramm Blender erstellt. Die grafische Darstellung der Simulation basiert auf Crystal Space. Die in Blender erstellte 3D-Welt wird hierzu mit Hilfe eines Skripts in das XML-Format konvertiert. Dieser XML-Code wird dann direkt von Crystal Space verarbeitet. Die Verarbeitungsreihenfolge ist in Abbildung 3.7 dargestellt (vgl. [Kewenig, 2006]).

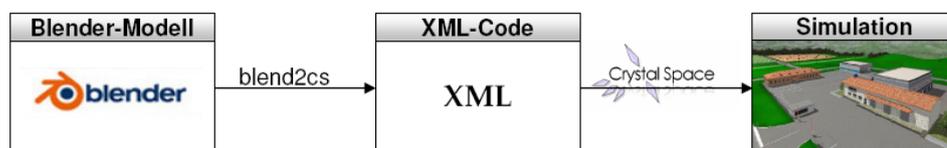


Abbildung 3.7: Der Weg zur Simulation.

Die 3D-Welt ist so gestaltet, dass die in den Prüfungsrichtlinien der Führerscheinklassen T, BE, C1E, CE, DE und D1E aufgeführten Grundfahraufgaben zum Rückwärtsfahren mit Gespannen erlernt und trainiert werden können. Im Folgenden sind einige dieser Grundfahraufgaben aufgeführt:

- geradeaus Rückwärtsfahren
- geradeaus Rückwärtsfahren an eine Rampe zum Be- und Entladen
- Wenden durch Rückwärtsfahren nach links
- Rückwärtsfahren und parallel versetzt an eine seitliche Rampe
- Rückwärtskurve links
- Rückwärts rechts in eine Einmündung fahren
- Rückwärtsfahren in eine parallel zur Straße liegende Parklücke

Abbildung 3.8 gibt einen Überblick über die gesamte 3D-Welt. Die 3D-Welt wurde in Form eines Speditionshofs modelliert, auf dem sich eine Werkstatthalle, ein Verwaltungsgebäude und diverse Lagerhallen befinden. Um den Speditionshof verläuft eine Ringstraße mit einer Einmündung und einem seitlichen Parkstreifen.



Abbildung 3.8: 3D-Welt mit Speditionshof.

Im Simulatorbetrieb kann man mit der [ENTER]-Taste ein Menü aufrufen in dem man sämtliche Einstellungen für die Simulation vornehmen kann. So kann man hier zwischen Fahrersicht und Vogelperspektive umschalten, sämtliche Einstellungen für die Assistenz vornehmen, die Rückfahrkamera spiegeln (Rückspiegelansicht bzw. Rückfahrkameraansicht), die Spiegel einstellen, die Startposition des Fahrzeuges festlegen, das Fahrzeug betanken und auch das Fahrzeug wechseln. In der Simulation stehen alle handelsüblichen Nutzfahrzeugarten mit Anhänger zur Verfügung. Zum Zugfahrzeug kann man variabel einen kurzen Starrdeichselanhänger, einen mittellangen Starrdeichselanhänger, einen langen Starrdeichselanhänger, einen Sattelanhänger und einen Zweiachsanhänger mit Drehschemellenkung wählen.

Der Simulator gibt dem Fahrer aber auch optische und akustische Hinweise und Warnungen. Abbildung 3.9 zeigt drei verschiedene Hinweisschilder. Diese gelben Warnungen erscheinen im Akutfall in jedem Display des Simulators um den Fahrer bestmöglich zu warnen. Abbildung 3.9(a) erscheint, wenn das Fahrzeug gegen ein Objekt im Fahrzeugumfeld fährt. Abbildung 3.9(b) kennzeichnet das Überfahren von Gegenständen. Dies kann zum Beispiel ein Bordstein sein. Und Abbildung 3.9(c) zeigt dem Fahrer an, dass der Einknickwinkel (γ) des Gespanns zu groß und somit in einem kritischen Bereich ist (vgl. [Berg, 2006b]).

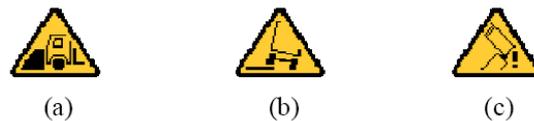


Abbildung 3.9: Hinweisschilder.

Nach einer Studie nach [?] wurde herausgefunden, dass Geräusche in einem Fahrzeug eine wichtige Rolle spielen. Um den Simulator realitätsnäher zu gestalten, wurden Motorgeräusche von einem Realfahrzeug und andere Nebengeräusche in die Simulation implementiert. In Abbildung 3.10 ist das Ergebnis dieser Studie aufgeführt.

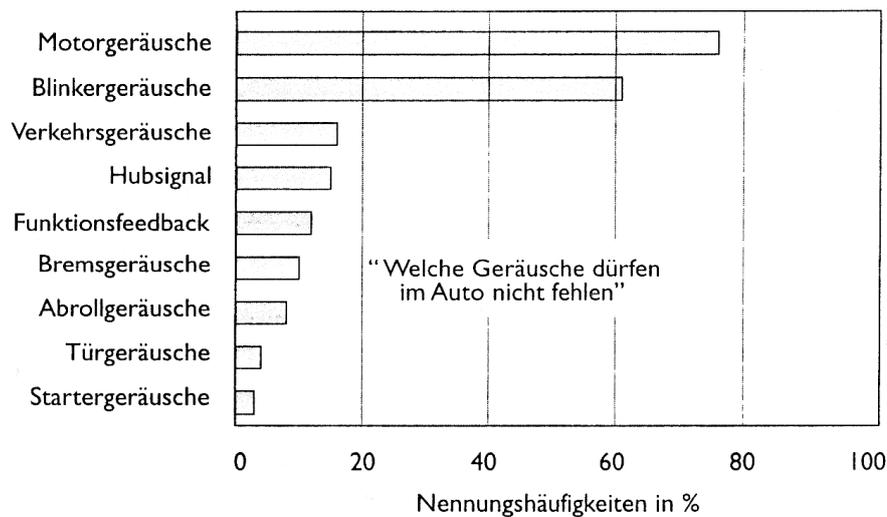


Abbildung 3.10: Informationsbedarf in Bezug auf Fahrzeuggeräusche.

3.3 PC-Version

Mit der PC-Version wurde alternativ zum oben beschriebenen Simulator eine kostengünstigere Version der Simulation entwickelt. Diese Version läuft auf nur einem PC und alle Sichten (Windschutzscheibe, Spiegel und Rückfahrkamera) werden auf einem großen TFT-Display angezeigt. Die Abbildung 3.11 zeigt den Aufbau dieser PC-Version.



Abbildung 3.11: PC-Version des Fahrsimulators.

Diese besteht aus einem handelsüblichen PC mit Tastatur und Maus, einem großen TFT-Display und einem Lenkrad mit Pedalerie für Gas und Bremse. Als Bildschirm kann jeder Computerbildschirm verwendet werden, obwohl wegen der großen Bildschirmdiagonalen ein größeres TFT-Display erheblich angenehmer ist. In der von der Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme entwickelten Version wird daher ein 24“-Display im 16:9-Format verwendet und empfohlen. Der PC erfordert eine aktuelle aber nicht allzu aufwendige Hardwarekonfiguration, damit ca. 15 FPS (Frames pro Sekunde) gut und flüssig dargestellt werden können (vgl. [Berg, 2006b]).

Abbildung 3.12 zeigt die Anordnung der verschiedenen Sichten auf einem Display. Die optische Lenkassistent ist hier in der oberen linken Ecke zu finden. In der Abbildung ist in der Sicht der Windschutzscheibe jedoch die Vogelperspektive anstatt der Fahrersicht aktiviert.

Auch in der PC-Version wurden Motorgeräusche und Nebengeräusche realitätsgetreu implementiert.



Abbildung 3.12: Sichten der PC-Version.

Kapitel 4

Durchführung der Evaluation

4.1 Auswahl der Probanden

Zu Beginn der Evaluationsvorbereitungen kam die Frage auf, mit welchen Probanden die Testfahrten stattfinden sollten. Da das optische LAS, der Simulator und die PC-Version sowohl für alltägliche Situationen als auch in Hinblick auf die Berufskraftfahrerausbildung evaluiert werden sollte, wurde sich für eine sehr heterogene Probandenstruktur entschieden. Ausgewählt wurden insgesamt 20 Probanden, die sich wie in dem Diagramm in Abbildung 4.1 dargestellt zusammensetzen.

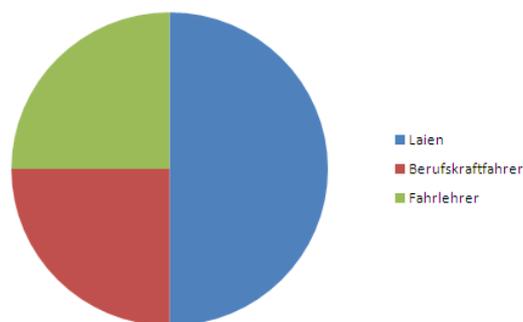


Abbildung 4.1: Probandenstruktur.

25% der Probanden waren Fahrlehrer (grün), die eine Ausbildung aller Führerscheinklassen anbieten. Hierdurch wurde sich eine Rückmeldung hinsichtlich einer Eignung für die Fahrschulausbildung und Berufskraftfahrerausbildung versprochen. Weitere 25% der Probanden waren professionelle Berufskraftfahrer (rot), die tagtäglich in ihrem Berufsleben mit Rückwärtsfahrten mit Gespannen zu tun haben. Mit diesen beiden Gruppen von Probanden wurden also potentielle professionelle Anwender des optischen LAS, des Simulators und der PC-Version angesprochen. Die restlichen 50% aller Probanden (blau) waren Laien mit unterschiedlichen Erfahrungen im Bereich des Rückwärtsfahrens. So wurde auch die Sparte der allgemeinen, nicht professionellen Nutzer der oben genannten Systeme angesprochen, um auch den Nutzen für ungeübte Fahrer zu evaluieren.

4.2 Ablauf der Evaluation

Zur Strukturierung der gesamten Evaluation wurde anhand von [Denz, 1989] und [Kromrey, 2005] ein so genanntes *Wasserfallmodell* entworfen, welches zur Orientierung in den einzelnen Evaluationsphasen dienen sollte. Laut der eben genannten Quellenangaben kann der Forschungsprozess als eine Reihe ineinander verzahnter Entscheidungen gesehen werden. Im Detail verläuft jede empirische Erhebung etwas anders, jedoch gibt es auch eine Reihe von Schritten, die in dieser oder ähnlicher Form bei jeder empirischen Forschung durchgeführt werden müssen.

Eine Evaluation wie die durchzuführende kann grob in acht Schritte eingeteilt werden:

Fragestellung In diesem Schritt wird das eigentliche Problem formuliert und die Problemformulierung präzisiert.

Literaturarbeit Es wird sich in diverse Fachliteratur eingelesen. Dies kann sowohl empirische Literatur als auch Literatur zum Evaluationsobjekt sein. Im Fall dieser Evaluation wurde sich zum Beispiel in Literatur über Simulatoren, Fahrerassistenzsysteme, Mensch-Maschine-Schnittstellen und Fahrerbelastungen eingearbeitet.

Variablenmodell Die für die Evaluation messbaren und voraussichtlich auswertbaren Datenvariablen und deren Skalierung werden festgesetzt.

Datenerfassung In dieser Phase werden die eigentlichen Daten der Evaluation erfasst. Hierzu werden geeignete Erhebungsverfahren gewählt und die Erhebungsinstrumente wie zum Beispiel Fragebögen entwickelt.

Statistische Erfassung Die in der vorhergehenden Datenerfassung ermittelten Daten werden aufbereitet. Hierbei werden statistische Modelle und Verfahren angewendet.

Datenanalyse und Datenbewertung Die erfassten statistischen Werte werden hier zu Ergebnissen interpretiert.

Bewertung Falls möglich werden die Ergebnisse der Evaluation (und somit wie im Fall dieser Arbeit das LAS, der Simulator und die PC-Version) bewertet.

Dokumentation Zum Abschluss werden die Ergebnisse und der gesamte Forschungsprozess in einem Forschungsbericht dokumentiert, und die Befunde können präsentiert werden.

Im Folgenden werden nun einige Punkte aufgeführt, die in der Evaluation untersucht und analysiert werden sollen:

- Beurteilung und Bewertung des Nutzens des optischen LAS, des Simulators und der PC-Version. Hierbei soll die unterstützende Leistung der Systeme untersucht werden, was unter anderem durch einen Vergleich von Fahrten mit und ohne Lenkassistentensystem geschehen soll. Sowohl der generelle Nutzen bei der Rückwärtsfahrt als auch der Nutzen für die Berufskraftfahrerausbildung sollen hier evaluiert werden.

- Beurteilung und Bewertung der Auswirkungen der optischen Lenkassistentz auf den Fahrer. Das Fahrverhalten des Fahrers wird hier genauer betrachtet und daraufhin untersucht, ob es Unterschiede zwischen der Fahrt mit und der ohne Assistenzsystem gibt.
- Beurteilung und Bewertung der Fahrerbelastung und -beanspruchung. Hierbei soll der Workload und der Stress der Fahrer beobachtet werden. Es soll herausgefunden werden, ob der Fahrer die Systeme belastend empfindet oder ob ein eventueller Nutzen durch die Belastung kompensiert wird. Interessant ist hierbei auch, ob die Fahrerbelastung und -beanspruchung überhaupt messbar ist.
- Beurteilung der Benutzerfreundlichkeit des Systems. Die leichte Erlernbarkeit, die selbsterklärende Bedienung der Systeme und der Erkennbarkeit der Simulationswelt steht hierbei im Vordergrund.
- Beurteilung und Bewertung der Akzeptanz der Systeme. Wie hoch ist die Kaufabsicht der Probanden und wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit für die Einführung der Systeme in die Berufskraftfahrerausbildung?
- Beurteilung und Bewertung der Realitätsnähe der eingesetzten Systeme. Ist die 3D-Welt realitätsnah oder fehlen wichtige Aspekte in der Umsetzung?

Im weiteren Verlauf dieser Dokumentation wird der weitere Ablauf der Evaluationen erläutert.

4.3 Messung der Fahrerbelastung und -beanspruchung

Um die Fahrerbelastung und Fahrerbeanspruchung zu messen, wurden mehrere Faktoren in Betracht gezogen. Nach [Kiegeland, 1990] sind folgende Indikatoren zur Messung mentaler Beanspruchung von Kraftfahrern geeignet:

- PGR elektrischer Hautwiderstand
- Herzfrequenz
- EOG-Ableitung für Lidschlag
- Sinusarrhythmie
- Atmungsgrößen

In den folgenden Unterkapiteln werden die Techniken *PGR elektrischer Hautwiderstand* und *Herzfrequenz* weiter erklärt, die näher auf Gebrauchstauglichkeit untersucht wurden. Die Techniken *EOG-Ableitung des Lidschlages*, *Sinusarrhythmie* und *Atmungsgrößen* wurden nicht bei der Evaluation verwandt, weil zur Erfassung dieser Messgrößen aufwendige Instrumente hätten angeschafft werden müssen. Die Auswertung dieser Techniken hätte außerdem ein großes medizinisches Wissen erfordert.

4.3.1 Messung des Hautwiderstandes

Der Wert des Hautwiderstandes hängt eng mit dem Hautleitwert zusammen und ermöglicht es, Rückschlüsse auf die emotionalen Zustände des Probanden zu ziehen. Zur Messung des Hautwiderstandes werden hierzu zwei Finger der Testperson über Sensoren an eine Testapparatur angeschlossen. Mit steigender Erregung steigt die Schweißabsonderung und senkt dadurch den Widerstand, was im Messgerät aufgezeichnet wird. Da die Schweißsekretion durch das vegetative Nervensystem gesteuert wird, ist dieser Vorgang bewusst nicht beeinflussbar.

Als geeignetes Messinstrument wurde der Relaxo-Trainer 2000 der Firma SOM Gerätebau GmbH ausgewählt, wie er in Abbildung 4.2 dargestellt ist.



Abbildung 4.2: Relaxo-Trainer 2000.

Der Relaxo-Trainer 2000 erfasst den Hautwiderstand über Fingerelektroden und besitzt einen Temperatursensor. Die erfassten Daten können mittels serieller Schnittstelle an einen PC übertragen werden, wo diese dann durch ein MS-DOS-Programm ausgewertet werden können (vgl. [SOM Gerätebau, 2007]). Der Hautwiderstand wurde in der Evaluation jedoch nicht berücksichtigt, weil das mit der Investition verbundene Kosten-Nutzen-Verhältnis im Rahmen der Evaluation als zu hoch eingeschätzt wurde.

4.3.2 Pulsmessung

Während der Versuchsfahrt im Simulator wird der Puls der Probanden gemessen und gespeichert, damit er später ausgewertet werden kann. Hierfür wurde als Messgerät der Herzfrequenzmesser Polar S610i (vgl. Abbildung 4.3) ausgewählt.



Abbildung 4.3: Pulsmesser Polar S610i.

Dieses Pulsmessgerät ermöglicht eine drahtlose, EKG-genaue Herzfrequenzmessung. Der Puls wird alle 5 Sekunden gemessen und gespeichert. Der Proband trägt einen Brustgurt und den Empfänger am Handgelenk. Die Datenübertragung zum Computer erfolgt nach einer Versuchsfahrt über eine Infrarotschnittstelle. Die Daten können über die *Polar Precision Performance Software* eingelesen und ausgewertet werden (vgl. [Polar Deutschland, 2006]).

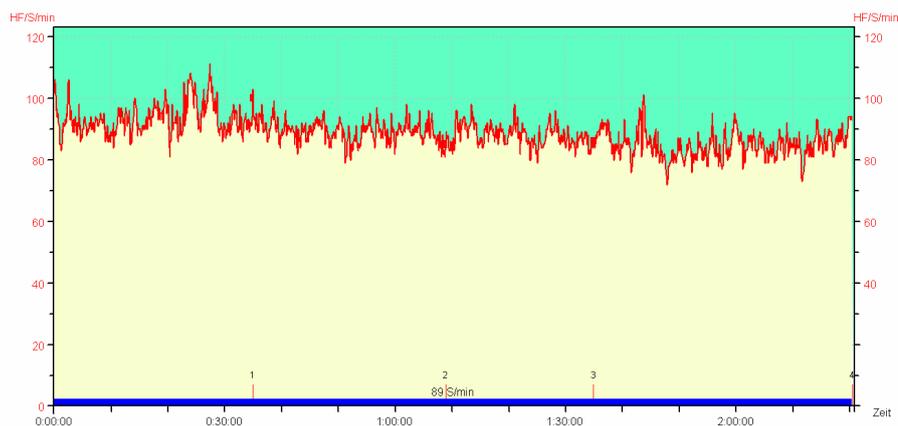


Abbildung 4.4: Pulsdiagrammbeispiel.

In Abbildung 4.4 ist ein Beispieldiagramm abgebildet. Pro Proband werden zwei dieser Diagramme erstellt. Eins protokolliert den Pulsverlauf bei der Versuchsfahrt mit dem Sattelanhängen mit und ohne optische Lenkassistentz, das andere protokolliert den Pulsverlauf bei der Versuchsfahrt mit dem mittleren Einachsanhänger mit und ohne optische Lenkassistentz.

4.3.3 Videoaufzeichnung

Während der Simulatorfahrten wurden einige Probanden mit einer Webcam gefilmt, um nach den Versuchen eine Videoauswertung durchzuführen, damit das Befinden des Probanden während der Versuchsfahrt besser dokumentiert werden konnte.

Als Kamera wurde eine Microsoft LifeCam VX-1000 eingesetzt. Die Aufnahmen wurden auf einem PC gespeichert. Die Tatsache, dass wegen der Beamer-Benutzung zur Erzeugung der Windschutzscheiben-Sicht das Licht im Raum stark gedimmt werden musste, trug zur schlechten Aufnahmequalität bei. Die Aufnahmen hatten zudem eine geringe Aussagekraft für die Beurteilung der Analyseobjekte und wurden deshalb nicht berücksichtigt.

4.4 Befragung der Probanden

Es wurden mehrere Fragebögen erstellt, um zusätzliche auswertbare Daten zu bekommen und um Eindrücke vor und nach den Testfahrten zu sammeln. Zu Beginn der Fragebogengenerierung wurden zunächst mittels Brainstorming alle für die Evaluation und spätere Auswertung interessanten Fragen gesammelt. Danach wurden diese mit Hilfe der in [Konrad, 2005] beschriebenen Checkliste für Interviewfragen weiter ausgewählt und sortiert. Im Folgenden sind einige Punkte dieser Checkliste aufgeführt.

- **Ist jede Frage erforderlich?** Überflüssige Fragen belasten den Befragten unnötig und verlängern das Interview. Mit Fragen, die man nur eventuell auszuwerten gedenkt, sollte äußerst sparsam umgegangen werden.
- **Enthält das Interview Wiederholungen?** Wenn ja, muss die Funktion von Fragen, die im Prinzip ähnliches erfassen wie andere auch, eindeutig geklärt sein (z.B. zur Realitätserhöhung oder zur Kontrolle von Antwortkonsistenz).
- **Welche Fragen sind überflüssig?** Um das Interview nicht zu überlasten, sollten eigene Beobachtungen oder andere Informationsquellen (z.B. Expertenbefragung) genutzt werden.
- **Sind alle Fragen einfach und eindeutig formuliert** und auf einen Sachverhalt gerichtet? Zielt eine Frage gleichzeitig auf mehrere Inhalte ab, sollte sie in Einzelfragen zerlegt werden. Als Regel gilt: Kurze Fragen sind zu bevorzugen.
- **Gibt es negativ formulierte Fragen**, deren Beantwortung nicht eindeutig sein könnte?
- **Sind Fragen zu allgemein formuliert?** Wenn ja, sind konkretere Formulierungen oder Ergänzungsfragen erforderlich. Hierauf ist besonders zu achten, wenn man das Interview zwischen Gefühlen, Wissen, Einstellungen und Verhalten differenzieren will.

- **Kann der Befragte die Fragen potenziell beantworten?** Die Schwierigkeit der Frage muss dem Bildungsniveau des Befragten angepasst sein. Der Befragte sollte nicht mit Fragen belastet werden, auf die er mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Antwort weiß.
- **Besteht die Gefahr, dass Fragen den Befragten in Verlegenheit bringen?** Sind derartige Fragen unumgänglich, sollten sie am Ende des Interviews gestellt werden. Können Fragen durch einfühlsamere Formulierungen entschärft werden?
- **Erleichtern Gedächtnisstützen oder andere Hilfsmittel die Durchführung des Interviews?** Ist dies der Fall, sollte der Interviewer (aber für alle Befragten einheitlich) helfende Hinweise geben.
- **Sind die Antwortvorgaben auch aus der Sicht des Befragten angemessen?** Unrealistische oder unwahrscheinliche Antwortvorgaben irritieren den Befragten.
- **Kann das Ergebnis der Befragung durch die Abfolge der Fragen (Sequenzeffekte) beeinflusst werden?** Besteht die Gefahr einer Beeinflussung, liegt es nahe, die Effekte verschiedener Fragenfolgen in Vortests zu prüfen.
- **Enthält das Interview genügend Abwechslung, um die Motivation des Befragten aufrecht zu erhalten?** Das Interview darf für den Befragten niemals langweilig werden. Aus diesem Grund kann es sein, das Frage-Antwort-Schema durch das Einbringen verschiedener Materialien (z.B. visuelle Vorlagen, Karten sortieren lassen) aufzulockern.
- **Sind die Fragen suggestiv formuliert?** Suggestivfragen sind zu vermeiden. Der Stil der Fragen sollte den Befragten ermuntern, das zu sagen, was er für richtig hält. Die Fragen sollten so formuliert sein, dass keine bestimmten Antworten besonders nahe liegen.
- **Ist die Polung der Fragen ausgewogen?** Werden z.B. mehrere Fragen zu einem Einstellungsbereich gestellt, müssen positive Einstellungen (das Gleiche gilt für negative Einstellungen) annähernd gleich häufig durch Bejahungen und Verneinungen der Fragen zum Ausdruck gebracht werden können. Hierbei sind Formulierungen zu wählen, deren Ablehnung nicht auf eine doppelte Verneinung hinausläuft.
- **Sind die Eröffnungsfragen richtig formuliert?** Die Startphase des Interviews ist äußerst wichtig. Sie hat häufig entscheidenden Einfluss auf den gesamten Interviewablauf. Zuweilen sind flexible Reaktionen des Interviewers auf das Verhalten des Befragten erforderlich.
- **Ist der Abschluss des Interviews genügend durchdacht?** Einfache, leicht zu beantwortende Fragen (z.B. biografische Angaben) und der Hinweis, der Befragte habe mit seinen Antworten dem Interviewer sehr geholfen, tragen dazu bei, das Interview in einer entspannten Atmosphäre zu beenden.

Insgesamt mussten vier Fragebögen entworfen werden:

Fragebogen vor der Fahrt Diesen Fragebogen füllten alle Probanden außer den Fahrlehrern, also 75% der Probanden, vor der Versuchsfahrt aus. In diesem Fragebogen wurden allgemeine Daten über den Probanden erfasst. Auch der Erfahrungsstand der Testperson mit Fahrten mit Gespannen wurde hier abgefragt. Es sollten außerdem noch Schwierigkeitsgrade diverser Fahraufgaben eingeschätzt werden.

Fragebogen vor der Fahrt für Fahrlehrer Dieser Fragebogen ist ähnlich dem Fragebogen für die anderen Probanden, jedoch sind hierbei die Fragen für Fahrlehrer entsprechend umformuliert und zielen auch auf die Erfahrungen mit Computer Based Training (CBT) in der Ausbildung.

Fragebogen nach der Fahrt Diesen Fragebogen mussten alle Probanden nach der Simulatorfahrt ausfüllen. Die Fragen beziehen sich auf die abgeschlossene Simulatorfahrt. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf dem optischen Lenkassistenzsystem, aber auch die Meinung über den Simulator als CBT-System ist abzugeben.

Fragebogen nach der Fahrt über Simulatoren Dieser Fragebogen war zusätzlich nur von den Fahrlehrern auszufüllen nachdem diese die Versuchsfahrt mit der PC-Version absolviert hatten, und er bezog sich mit seinen Fragen nur auf die beiden Systeme Simulator und PC-Version. Es wurden auch Fragen über die Alltagstauglichkeit dieser Systeme für die Kraffahrer Ausbildung gestellt.

Die vorher entwickelten Fragen wurden sinnvoll den einzelnen Fragebögen zugeordnet und sortiert. Zum Schluss wurden die Fragebögen noch mit einem ansprechenden Layout und mit einleitenden Worten versehen. Die vier entworfenen Fragebögen befinden sich im Anhang dieser Studienarbeit.

4.5 Testfahrten mit Probanden im Simulator

Der Hauptbestandteil der gesamten Evaluation bestand aus der Testfahrt im Simulator. Hierbei sollten die Probanden das entwickelte LAS und den Simulator an sich testen.

Zu Beginn der Testfahrt bekamen die Probanden eine kurze Einweisung in den Simulator und den Fahrstand. Hierbei wurden Gangschaltung, Pedalerie, Außenspiegel und Anzeigen des Cockpits erklärt. Danach wurde dem Probanden die 3D-Welt (vgl. Abbildung 3.8) grob in der Vogelperspektive erklärt. Zur Gewöhnung an den Simulator fuhren die Testpersonen die Ringstrasse einmal komplett um den Betriebshof herum.

Nach dieser Eingewöhnungszeit begann nun die eigentliche Evaluation. Die Probanden wurden gebeten, ein festgelegtes Curriculum von 7 Fahraufgaben mit einem Sattelanhänger und einem mittelgroßen Einachsanhänger jeweils mit und ohne LAS zu durchfahren. Hierbei wurden auf einer Checkliste folgende Daten gemessen und notiert: Zeit pro Fahraufgabe, Häufigkeit des Rangierens, Unfälle, Verbiegen der Deichsel, sonstige Auffälligkeiten und ob die Fahraufgabe letztendlich überhaupt erledigt wurde. Diese Checkliste befindet sich im Anhang.

Das Fahraufgaben-Curriculum wurde so entworfen, dass die Prüfungsrichtlinien der Führerscheinklassen T, BE, C1E, CE, DE und D1E für Fahrzeuge mit Anhänger weitestgehend abgedeckt wurden. Hierbei wurde auch darauf geachtet, dass die Abfolge der Fahraufgaben in einem flüssigen Parcours kreisförmig angeordnet liegen:

1. Startpunkt ist der Zaun neben der Werkstatthalle, von dem man als erste Fahraufgabe rückwärts geradeaus an das Hochregallager fährt
2. rückwärts in einer Rechtskurve an das Hochregallager auf der gegenüberliegenden Seite
3. rückwärts parallel versetzt an die seitliche Laderampe
4. rückwärts geradeaus in die Werkstatthalle
5. rückwärts in einer Linkskurve an das Hochregallager
6. rückwärts in die Kreuzung außerhalb des Betriebshofes in einer Linkskurve
7. parallel versetzt in die seitliche Parklücke vor der Einfahrt zum Betriebshof

4.6 Testfahrten mit Probanden mit der PC-Version

Anders als bei der Testfahrt im Simulator nahmen nur die Fahrlehrer aus dem Probanden-Pool an der Testfahrt mit der PC-Version teil. Nach einer kurzen Einweisung in die PC-Version (Pedalerie, Sichten auf dem TFT-Display) wurde die Testfahrt gestartet. Hierbei gab es - auch anders als bei der Simulatorfahrt - kein vorgeschriebenes Fahraufgaben-Curriculum, sondern der Proband sollte sich einfach frei in der Simulation bewegen. Es wurde aber angeregt die ein oder andere Fahraufgabe, die der Testfahrer von der Simulatorfahrt her kannte, auf der PC-Version auszuprobieren. Da die 3D-Welt identisch mit der aus dem Simulator ist, gab es hierfür kein Erklärungsbedarf. Die Testfahrt mit der PC-Version wurde auf ca. 10 Minuten freie Fahrt beschränkt. Es gab keinerlei Vorgaben für den Probanden. Auch die Entscheidung, ob Rückwärtsfahrten mit oder ohne LAS absolviert wurden, blieb jedem Fahrer selbst überlassen.

Kapitel 5

Auswertung der Evaluation

5.1 Statistische Grundlagen

Die Statistik läßt sich in drei Teile gliedern. Die deskriptive Statistik ist rein beschreibend und fasst die vorliegenden Daten zusammen. Die induktive Statistik leitet aus den erfassten Daten einer Stichprobe Eigenschaften einer Grundgesamtheit ab. Grundlage hierfür bildet die Wahrscheinlichkeitstheorie. Der dritte Teil ist die explorative Statistik, die eine Mischform der anderen beiden Teile darstellt. Mittels deskriptiver und induktiver Statistik werden bei dieser Form die Daten auf Zusammenhänge überprüft und so entsprechende Hypothesen gebildet (vgl. [Bol, 2004] und [Burkschat, 2004]). Bei der im Rahmen dieser Studienarbeit durchzuführenden Evaluation wird sich auf die deskriptive Statistik bezogen. Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, wurde für die Evaluation eine heterogene Probandenstruktur als Stichprobenmenge ausgewählt, um zu gewährleisten, dass die Voraussetzungen der Testteilnehmer unterschiedlich sind. Bei der deskriptiven Statistik geht es darum, die erfassten Daten tabellarisch aufzulisten, grafisch darzustellen und statistische Kennwerte zu berechnen. Hierunter fallen zum Beispiel Mittelwerte und Häufigkeitsverteilungen.

Wie in Kapitel 4.2 anhand des Wasserfallmodells bereits beschrieben, besteht die Beschaffung von empirischen Daten nach [Diekmann, 2005] aus folgenden Schritten.

1. Formulierung und Präzisierung des Forschungsproblems
2. Theoriebildung unter Berücksichtigung des Adäquationsproblems (Verwendung geeigneter Daten und Werkzeuge)
3. Erhebungsvorbereitung (Erhebungsinstrumente, Stichprobenauswahl, Probandenauswahl, Testevaluation)
4. Datengewinnung
5. Datenaufbereitung
6. Auswertung und statistische Datenanalyse
7. Ergebnispräsentation

Die Schritte 1 bis 5 wurden in den vorangegangenen Kapiteln behandelt. In den folgenden Kapiteln wird sich nun den Punkten 6 und 7 gewidmet.

5.2 Objektive Bewertung der Testfahrten

5.2.1 Auswertung des Fragebogens *Vor der Fahrt*

Zu Beginn jeder Testfahrt wurde jeder einzelne Proband gebeten einen Fragebogen auszufüllen. Der „Fragebogen vor der Fahrt“ (siehe Anhang) beinhaltet generelle Fragen zur Person und den Erfahrungsstand zum Rückwärtsfahren mit Gespannen. Außerdem soll der Schwierigkeitsgrad gewisser Fahraufgaben mit einem Sattelanhänger und einem Einachsanhänger eingeschätzt werden.

In Kapitel 4.1 wurde schon auf die Kriterien zur Probandenauswahl eingegangen. Auf die gesamte Probandenmenge (20) gesehen lag das Durchschnittsalter bei 34,4 Jahren. 45 Prozent der Teilnehmer an den Versuchsfahrten waren zwischen 20 und 30 Jahre, 30 Prozent zwischen 30 und 40 Jahre, 15 Prozent zwischen 40 und 50 Jahre alt und 10 Prozent waren über 50. Die Geschlechter teilten sich zu 15 Prozent weiblich und 85 Prozent männlich auf. Die ausgeübten Berufe waren, wie in Kapitel 4.1 schon erwähnt, ausschlaggebend als Kriterium für die Probandenauswahl und waren wie dort beschrieben aufgeteilt.

Alle Probanden besitzen den Führerschein der Klasse B. Zusätzlich dazu besitzen 45 Prozent die Klasse A, 35 Prozent die Klasse C bzw. CE, 20 Prozent die Klasse D und ein Proband (5 Prozent) Klasse T. Jeder der fünf teilnehmenden Fahrlehrer besitzt alle Führerscheinklassen (außer T) und sind seit den Jahren 1968, 1974, 1986, 2001 und 2005 als Fahrlehrer aktiv tätig, wobei vier auf den Anhängertypen Einachsanhänger, Zweiachsanhänger und Sattelanhänger lehren und einer nur auf Zweiachsanhänger und Sattelanhänger. 40 Prozent der Probanden legen pro Jahr etwa 10.000 bis 20.000 km zurück. Jeweils 25 Prozent fahren unter 10.000 km oder über 30.000 km. Die restlichen 10 Prozent fahren zwischen 20.000 und 30.000 km.

Auf die Frage, ob regelmäßig Computerspiele gespielt werden, antworteten 35 Prozent mit *gar nicht*, 40 Prozent mit *weniger als 5 Stunden pro Woche*, 10 Prozent mit *mehr als 5 Stunden pro Woche*, und 15 Prozent mit *mehr als 10 Stunden pro Woche*. Kein Proband spielt mehr als 15 Stunden pro Woche. Hierbei werden hauptsächlich Strategiespiele (50 Prozent), Ego-Shooter (25 Prozent), Rennspiele (25 Prozent) und Kartenspiele (20 Prozent) gespielt. Darauf aufbauend wurde nach der Simulatorerfahrung der Teilnehmer gefragt. 75 Prozent der Befragten haben keinerlei Erfahrungen mit einem Simulator. 10 Prozent haben schon einmal mit einem Joystick am PC gespielt, und 20 Prozent sind schon mal in einem Fahr Simulator gefahren.

Das eigene Interesse an technischen Neuerungen im Bereich der Automobilindustrie schätzten 55 Prozent der Teilnehmer als *hoch* und 45 Prozent als *mittel* ein. Es gab keine Antwort mit *niedrig*. Auch finden 80 Prozent den Einsatz von Computern oder Simulatoren in der Ausbildung zum Berufskraftfahrer (Computer Based Training) sinnvoll. 20 Prozent waren sich hierüber nicht sicher und antworteten mit *weiß nicht*. Bei einem solchen Einsatz würden 80 Prozent Simulatorfahrten als Ausbildungsmittel begrüßen. 25 Prozent antworteten *computerbasierte Fragebögen* und 20 Prozent *computerbasierte Tests*. Zwei

der fünf teilnehmenden Fahrlehrer haben computerbasierte Fragebögen bereits in der Ausbildung zum Berufskraftfahrer selbst eingesetzt. Computerbasierte Tests und Simulatoren waren allen jedoch in der Praxis unbekannt.

Generell sind 70 Prozent der Probanden bereits mit einem Fahrzeug mit Anhänger rückwärts gefahren. Die meisten Antworten zur Häufigkeit der Fahrten mit den Anhängertypen Einachsanhänger, Zweiachsanhänger und Sattelanhänger beliefen sich hierbei auf den Mittelwert *mehrmals im Monat*. Von *täglich* bis *seltener* waren nur vereinzelt Antworten dabei. Hierbei sind bei 45 Prozent der Probanden die Fahrten beruflich bedingt, nur 10 Prozent fahren privat und 15 Prozent fahren sowohl beruflich als auch privat mit Anhänger.

Der Schwierigkeitsgrad des Rückwärtsfahrens ohne Anhänger wird von allen Probanden als *sehr leicht* bis *leicht* eingestuft. Anders beim Rückwärtsfahren mit Anhänger. Von den Probanden, die Erfahrung mit Rückwärtsfahrten mit Anhänger haben, wird der Schwierigkeitsgrad hierbei auf *mittel* bis *schwierig* eingestuft.

Danach sollte jeweils die Schwierigkeit für verschiedene Fahraufgaben mit einem Sattelanhänger und einem Einachsanhänger auf einer 5-stufigen Skala von *sehr leicht* bis *sehr schwierig* eingeschätzt werden. Beim Sattelanhänger wurden die Fahraufgaben geradeaus rückwärts fahren und rückwärts um eine Kurve fahren von den meisten Probanden als leicht eingeschätzt. Rückwärts einparken gilt bei den meisten als schwierig und rückwärts parallel versetzen wird sogar als sehr schwierig eingestuft. Die Einschätzungen für einen Einachsanhänger sehen ähnlich aus. Die Fahraufgaben geradeaus rückwärts fahren und rückwärts um eine Kurve fahren werden als leicht eingestuft. Rückwärts einparken und rückwärts parallel versetzen werden als schwierig bis sehr schwierig eingestuft.

Als generelle Ursache für die Probleme und Schwierigkeiten beim Rückwärtsfahren nannten 70 Prozent der Probanden die eingeschränkte Sicht, 80 Prozent die ungewohnte Situation und den Erfahrungsmangel und 60 Prozent das unlogische Lenkverhalten. Als weitere Ursachen wurden auch Stress und der allgemeine Zeitfaktor erwähnt. Während des Rückwärtsfahrens warten oft andere Fahrzeuge ungeduldig auf das gerade einparkende Fahrzeug, wodurch sich die Fahrer unter Druck gesetzt fühlen. Auch die Tatsache, dass im richtigen Moment die richtige Stelle am Fahrzeug beobachtet werden muss, belastet die Fahrer zusätzlich. Ganz allgemein gesehen spielen auch die Unsicherheit eine wichtige Rolle.

Zusammenfassend kann man über diesen vorausgehenden Fragebogen sagen, dass das Rückwärtsfahren mit einem Fahrzeug mit Anhänger grundsätzlich als schwierig angesehen wird. Hierbei machte es keinen Unterschied, ob die Fragen von Fahrlehrern, Berufskraftfahrern oder Laien beantwortet wurden. Die Schwierigkeiten beim Rückwärtsfahren waren allen Probanden präsent, und von den professionellen Fahrern wurde bestätigt, dass die Schwierigkeiten beim Rangieren von Gespannen nicht unterschätzt werden dürfen.

5.2.2 Auswertung des Fahrtablaufs

Für jeden Probanden wurden zwei Tabellen aufgestellt, die den Fahrtablauf protokollieren. Eine Tabelle dokumentiert die Fahrt mit dem Sattelanhänger, die andere die Fahrt mit dem Einachsanhänger. Abbildung 5.1 zeigt beispielhaft diese zwei Tabellen. Das jeweils bessere Ergebnis ist grün unterlegt.

Nummer:							
Name:							
SATTELANHÄNGER		Zeit	rangiert	Unfälle	Deichsel	Sonstiges	geschafft?
gerade an HL	ohne	6:03	2		2		1
RK an HL	ohne	3:50			2		0
parallel Rampe	ohne	2:44					1
WSH	ohne	7:06	3	1			0
LK an HL	ohne	3:04	1				0
LK Kreuzung	ohne	2:33	1				0
parallel Lücke	ohne	2:14			1		0
gerade an HL	mit	1:00					1
RK an HL	mit	2:52					1
parallel Rampe	mit	2:17	1				1
WSH	mit	2:58					1
LK an HL	mit	2:30					1
LK Kreuzung	mit	1:30					1
parallel Lücke	mit	2:30					1
Gesamt	ohne:	27:34:00	7	1	5		2
Gesamt	mit:	15:37	1	0	0		7
EINACHSER		Zeit	rangiert	Unfälle	Deichsel	Sonstiges	geschafft?
gerade an HL	ohne	1:30	1				0
RK an HL	ohne	0:40			1		0
parallel Rampe	ohne	1:30			1		0
WSH	ohne	2:40			1		0
LK an HL	ohne	1:00			1		0
LK Kreuzung	ohne	3:00			1		0
parallel Lücke	ohne	2:00			1		0
gerade an HL	mit	1:40					1
RK an HL	mit	2:14					1
parallel Rampe	mit	1:14					1
WSH	mit	1:30					1
LK an HL	mit	1:06					1
LK Kreuzung	mit	1:32					1
parallel Lücke	mit	1:30					1
Gesamt	ohne:	23:06	1	0	6		0
Gesamt	mit:	10:46	0	0	0		7

Abbildung 5.1: Protokollierung des Fahrtablaufs für die Fahrt mit Sattelanhänger und mit Einachsanhänger.

Die Versuchsfahrt wurde in die Fahrt mit Sattelanhänger und in die Fahrt mit Einachsanhänger unterteilt. In jeder einzelnen Unterteilung wurden die sieben Fahraufgaben zuerst ohne und danach mit optischem LAS gefahren. Während der Fahrt wurde die Netto-Zeit für jede einzelne Fahraufgabe notiert. Außerdem wurden Zwischenfälle wie Rangieren, Unfälle oder das Überschreiten des kritischen Lenkwinkels (Fahrzeug überknicken) protokolliert. Eine weitere Spalte war vorgesehen für sonstige Vorkommnisse. Am Ende jeder Fahraufgabe wurde dann notiert, ob diese letztendlich überhaupt erfolgreich beendet wurde.

Proband 1 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 2 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 27:34 Min. Es wurde 7 mal rangiert, es gab 1 Unfall (Objekt des Fahrzeugumfeldes wurde angefahren) und 5 mal wurde das Fahrzeug überknickt.
Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 15:37 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt. Es wurde 1 mal rangiert.
Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurde keine einzige Fahraufgabe geschafft. Es wurden hierfür 23:06 Min. benötigt, es wurde 1 mal rangiert und das Fahrzeug wurde 6 mal überknickt.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 10:46 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Der Proband meisterte alle Fahraufgaben mit LAS ohne Probleme. Ohne LAS hatte er sehr große Probleme. Die Absolvierung der Fahraufgaben war mit LAS sowohl qualitativ als auch zeitlich erheblich besser als ohne LAS.

Proband 2 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 16:42 Min. Es wurde 8 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 9:19 Min. geschafft. 6 von 7 Fahraufgaben wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt. Es wurde 2 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 11:42 Min. benötigt. Es gab keine Zwischenfälle.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 5:47 Min. mit 1 mal Rangieren geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS absolviert.

Fazit: Der Proband konnte auch ohne LAS die Gespanne gut rangieren. Er benötigte mit LAS allerdings erheblich weniger Zeit für die Fahraufgaben. Auch meisterte der Proband die ihm gestellten Aufgaben sicherer.

Proband 3 (Berufskraftfahrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 24:02 Min. Es wurde 6 mal rangiert und es gab 2 Unfälle.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 14:43 Min. geschafft. Es wurde 2 mal rangiert und es gab 2 Unfälle.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 6 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 15:52 Min. benötigt, es wurde 12 mal rangiert und das Fahrzeug wurde 2 mal überknickt.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 7:20 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Der Proband konnte mit LAS die Fahraufgaben erheblich schneller bewerkstelligen. Auch die Zwischenfälle waren deutlich reduziert. Der Proband fuhr sicherer und schneller mit LAS.

Proband 4 (Berufskraftfahrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 6 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 12:39 Min. Es wurde 7 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 8:11 Min. geschafft. Es wurde nur 1 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 5:24 Min. benötigt und es wurde 1 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:46 Min. mit einmaligem Rangieren geschafft.

Fazit: Dieser Proband fuhr den Sattelanhänger mit LAS schneller und sicherer. Mit dem Einachsanhänger war er geringfügig langsamer.

Proband 5 (Berufskraftfahrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 6 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 11:14 Min. Es wurde 8 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 7:48 Min. geschafft. Es wurde 2 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 7:58 Min. benötigt und es wurde 2 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 9:00 Min. erfüllt, wobei 2 mal rangiert wurde.

Fazit: Beim Sattelanhänger fuhr der Proband schneller und sicherer. Beim Einachsanhänger wurde ein ungefähr gleiches Ergebnis erzielt.

Proband 6 (Berufskraftfahrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 7:24 Min. Es wurde 1 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:28 Min. geschafft. Es gab keine Zwischenfälle.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 8:40 Min. benötigt, es wurde 3 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 8:01 Min. absolviert. Es wurde 2 mal rangiert.

Fazit: Von den Zeiten her absolvierte dieser Proband die Fahraufgaben sowohl mit als auch ohne LAS relativ gleich schnell. Mit LAS konnte man jedoch eine sicherere Fahrweise mit weniger Zwischenfällen beobachten.

Proband 7 (Berufskraftfahrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 8:16 Min. Es wurde 2 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:07 Min. geschafft. Es wurde 1 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 7:48 Min. benötigt, es wurde 2 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:46 Min. mit einmaligem Rangieren geschafft.

Fazit: Der Proband absolvierte die Fahraufgaben mit LAS etwas schneller als ohne. Auch das Rangieren wurde unter Einsatz des LAS verringert.

Proband 8 (Fahrlehrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 14:26 Min. Es wurde 4 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 11:43 Min. geschafft. Es wurde 1 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 5:49 Min. benötigt und es gab keine Zwischenfälle.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:36 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Der Proband fuhr mit Sattelanhänger erheblich sicherer und schneller unter Einsatz des LAS. Beim Einachsanhänger erzielte er ein ungefähr gleiches Ergebnis.

Proband 9 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 8:00 Min. Es wurde 7 mal rangiert und es gab 2 Unfälle.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:14 Min. geschafft. Es wurde nur 1 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 5 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 7:57 Min. benötigt, es wurde 9 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:03 Min. geschafft. Es wurde 2 mal rangiert und es gab auch 1 Unfall.

Fazit: Der neunte Proband hatte ohne LAS erhebliche Schwierigkeiten. Er fuhr mit LAS schneller und auch erheblich sicherer.

Proband 10 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 7:34 Min. Es wurde 1 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:16 Min. geschafft. Es wurde 2 mal rangiert. Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 6:58 Min. benötigt und es wurde 4 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:32 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Der Proband fuhr bei beiden Anhängertypen schneller mit LAS als ohne LAS durch den Parcours. Beim Einachsanhänger fuhr er außerdem erheblich sicherer und musste nie korrigieren.

Proband 11 (Fahrlehrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 6 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 15:48 Min. Es wurde 8 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:55 Min. geschafft. Es wurde 1 mal rangiert. Einachsanhänger: Aus Zeitgründen wurde bei diesem Probanden die Fahrt mit dem Einachsanhänger weggelassen.

Fazit: Der Proband fuhr mit LAS erheblich schneller durch die Fahraufgaben als ohne LAS. Auch eine sicherere Fahrweise mit LAS wurde durch das seltene Rangieren bestätigt.

Proband 12 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 5 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 10:19 Min. Es wurde 12 mal rangiert und es gab 12 Unfälle und das Fahrzeug wurde 1 mal überknickt.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:53 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt. Es wurde 2 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 3 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 8:33 Min. benötigt, es wurde 16 mal rangiert, es gab 2 Unfälle und das Fahrzeug wurde 2 mal überknickt..

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:43 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Bei diesem Probanden ist das Ergebnis der Testfahrt sehr drastisch ausgefallen. Alle Fahraufgaben wurden mit LAS erheblich schneller als ohne LAS absolviert. Die Zwischenfälle wurden drastisch reduziert mit LAS. Auch die Tatsache, dass mit LAS alle Fahraufgaben absolviert wurden und ohne LAS nur wenige, spricht bei diesem Probanden für den Nutzen des LAS.

Proband 13 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 12:50 Min. Es wurde 8 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:43 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt. Es wurde 1 mal rangiert.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 10:58 Min. benötigt, es wurde 6 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:27 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch bei diesem Probanden wurden alle Fahraufgaben jeweils mit LAS erheblich besser und sicherer absolviert als ohne LAS. Sowohl von der gefahrenen Zeit als auch von den Zwischenfällen her sind die Ergebnisse zugunsten des LAS ausgefallen.

Proband 14 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 7 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 8:00 Min. Es wurde 8 mal rangiert, es gab 3 Unfälle und das Fahrzeug wurde 1 mal überknickt..

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:40 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt. Es gab keine Zwischenfälle.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 3 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 9:51 Min. benötigt, es wurde 25 mal rangiert, es gab 1 Unfall und das Fahrzeug wurde 1 mal überknickt..

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:23 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch bei diesem Probanden war das Ergebnis mit LAS erheblich besser als ohne LAS. Der Proband hat jede Fahraufgabe mit LAS deutlich schneller und ohne Zwischenfälle absolviert als ohne LAS. Dabei war es egal welcher Anhänger typ gefahren wurde.

Proband 15 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 5 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 15:50 Min. Es wurde 6 mal rangiert und das Fahrzeug wurde 1 mal überknickt..

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:40 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 5 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 8:19 Min. benötigt, es wurde 7 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:01 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch dieser Proband erzielt mit LAS erheblich bessere Ergebnisse als ohne LAS. Er benötigte mit LAS nur die Hälfte der Zeit beim Einachsanhänger und sogar nur ein Drittel der Zeit beim Sattelanhänger. Mit LAS hatte die Testperson auch keinerlei Schwierigkeiten mit Zwischenfällen.

Proband 16 (Fahrlehrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden all Fahraufgaben geschafft. Zeit: 16:07 Min. Es wurde 4 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:11 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 10:07 Min. benötigt, es wurde 4 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:45 Min. mit 1 mal Rangieren geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch dieser Proband erzielte mit dem LAS eindeutige Ergebnisse. Sowohl zeitlich als auch auf die Zwischenfälle bezogen meisterte dieser Proband die Fahraufgaben mit LAS ohne Problem.

Proband 17 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 2 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 11:47 Min. Es wurde 6 mal rangiert und das Fahrzeug wurde 2 mal überknickt.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:57 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurde 1 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden

hierfür 8:55 Min. benötigt, es wurde 10 mal rangiert, es gab 2 Unfälle und das Fahrzeug wurde 4 mal überknickt.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 3:54 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch diese Testperson liefert ein eindeutiges Ergebnis. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS im Gegensatz zu ohne LAS perfekt absolviert. Ohne LAS hatte der Proband erhebliche Schwierigkeiten beim Rangieren.

Proband 18 (Laie) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden 4 von 7 Fahraufgaben geschafft. Zeit: 18:24 Min. Es wurde 15 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:31 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden 3 von 7 Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 11:25 Min. benötigt, es wurde 10 mal rangiert und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 5:03 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Fazit: Auch dieser Proband hatte mit LAS keine Probleme, die ihm gestellten Fahraufgaben zu absolvieren. Der Teilnehmer war mit LAS sehr sicher und manövrierte die Gespanne souverän rückwärts.

Proband 19 (Fahrlehrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 11:53 Min. Es wurde 3 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 6:50 Min. geschafft.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 5:13 Min. benötigt und es gab 1 Unfall.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 5:35 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Dieser Proband hat die Fahraufgaben mit dem Sattelanhänger bedeutend schneller und sicherer absolviert. Beim Einachsanhänger war er ungefähr gleich schnell, jedoch ist er mit LAS sicherer gefahren.

Proband 20 (Fahrlehrer) Sattelanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Zeit: 6:50 Min. Es wurde 3 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 4:31 Min. geschafft. Jede einzelne Fahraufgabe wurde mit LAS schneller als ohne LAS erledigt.

Einachsanhänger: *Ohne LAS* wurden alle Fahraufgaben geschafft. Es wurden hierfür 7:03 Min. benötigt, es wurde 1 mal rangiert.

Mit LAS wurden alle Fahraufgaben in 5:13 Min. ohne irgendwelche Schwierigkeiten geschafft.

Fazit: Der letzte Proband der gesamten Evaluation ist insgesamt mit LAS schneller durch die Fahraufgaben gefahren als ohne. Auch hier konnte man unter Einsatz des LAS eine erhöhte Sicherheit erkennen.

Zusammenfassendes Fazit: Die oben detailliert aufgeführten Ergebnisse zeigen, dass fast alle Probanden unter Einsatz des LAS erheblich schneller und sicherer die gestellten Fahraufgaben absolvierten als ohne LAS. Sehr gravierend fällt dies bei den Laien auf.

Die meisten erzielen bei fast jeder Fahraufgabe mit LAS schnellere und vor allem sicherere Ergebnisse. Selbst Aufgaben, die ohne LAS überhaupt nicht zu schaffen waren für die jeweilige Testperson, stellten mit LAS kein Problem mehr da. Bei den geübten Berufskraftfahrern und Fahrlehrern kann man erkennen, dass diese die Fahraufgaben zwar von der Zeit her ungefähr gleich oder geringfügig schneller mit LAS bewerkstelligen, allerdings fährt jeder von ihnen sicherer und souveräner unter Einsatz des LAS.

5.2.3 Auswertung der Herzfrequenzdiagramme

Wie in Kapitel 4.4.2 bereits erwähnt, wurden bei jeder Testfahrt die Herzfrequenzen der Probanden zur Messung der Fahrerbelastung gemessen. Eine Auswertung der Pulsdiagramme zeigte jedoch, dass diese keine verwendbaren Informationen beinhalten. Anders als bei den Testfahrten im Rahmen des Projektpraktikums „Evaluation von Lenkassistenzsystemen für Fahrzeuge mit Anhänger“ (vgl. [Behling, 2006]) auf einem Realfahrzeug, blieben die Herzfrequenzen aller Probanden nahezu stabil. Bei einigen Testpersonen konnte man zwar unter Einsatz des optischen Lenkassistenzsystems eine leichte Beruhigung des Pulses erkennen, diese war jedoch so schwach, dass sie hier nicht als Ergebnis angeführt wird. Abbildung 5.2 zeigt ein Diagramm eines Probanden, in dem man eine leichte Beruhigung feststellen kann. Die Herzfrequenzen der Fahrt mit LAS und der Fahrt ohne LAS sind in diesem Diagramm dargestellt. Alle anderen Pulsdiagramme befinden sich auf der CD im Anhang..

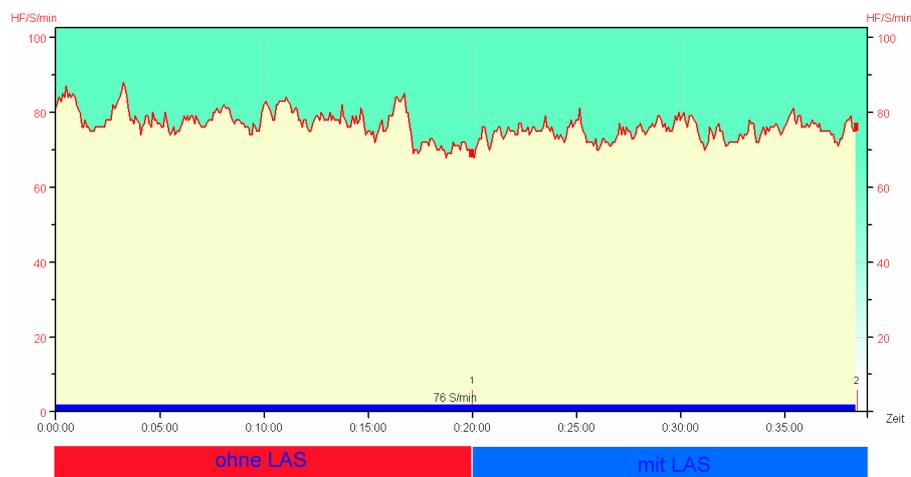


Abbildung 5.2: Pulsdiagramm eines Probanden mit erkennbarer Beruhigung des Pulses.

Diese Ergebnisse sind wohl darauf zurückzuführen, dass es sich bei den Testfahrten nicht um Realfahrten handelte. Der Proband steuert durch eine virtuelle Welt und muss sich nicht weiter sorgen oder anstrengen. Die hier untersuchte körperliche Fahrerbelastung war, egal ob mit oder ohne LAS, bei fast allen Probanden nahezu gleich. Dieses wird als Nachteil der Simulation angesehen. Eine erstellte virtuelle Simulation wird nie so sein wie die Realität.

5.3 Subjektive Bewertung durch die Testteilnehmer

Nach der Testfahrt wurden alle Probanden mittels des Fragebogens „Nach der Fahrt“ (siehe Anhang) befragt. Zu Beginn sollten diverse Aussagen anhand einer Skala von *sehr stark*, *stark*, *mittel*, *wenig*, *sehr wenig* bis *gar nicht* eingestuft werden. Folgende Aussagen wurden wie folgt beantwortet:

Das LAS gefiel mir gut 65 Prozent stark, 30 Prozent sehr stark, 5 Prozent mittel

Ich habe dem System vertraut 40 Prozent sehr stark, 30 Prozent stark, 20 Prozent mittel, 5 Prozent wenig

Das LAS erfordert hohe Konzentration 60 Prozent mittel, 20 Prozent stark, 15 Prozent wenig, 5 Prozent sehr stark

Das System ist leicht erlernbar 45 Prozent stark, 30 Prozent mittel, 25 Prozent sehr stark

Das System ist selbsterklärend 50 Prozent stark, 25 Prozent mittel, 15 Prozent sehr stark, 10 Prozent wenig

Die eingeblendeten Informationen waren unmittelbar verständlich 55 Prozent stark, 35 Prozent sehr stark, 10 Prozent mittel

Das LAS hat mich entlastet 50 Prozent sehr stark, 30 Prozent stark, 15 Prozent mittel, 5 Prozent wenig

Das Fahren mit dem LAS war komfortabel 55 Prozent stark, 35 Prozent sehr stark, 10 Prozent mittel

Ich bin unter dem Einsatz des LAS risikoreicher gefahren 25 Prozent mittel, 20 Prozent sehr stark, wenig und gar nicht, 10 Prozent stark, 5 Prozent sehr wenig

Die Verkehrssicherheit beim Rückwärtsfahren wird durch das LAS erhöht 50 Prozent stark, 20 Prozent sehr stark und mittel, 5 Prozent wenig und gar nicht

Ich wurde vom LAS von der eigentlichen Fahraufgabe abgelenkt 30 Prozent wenig, 25 Prozent sehr wenig, 15 Prozent mittel und gar nicht, 10 Prozent stark, 5 Prozent sehr stark

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Testfahrt den meisten Probanden stark bis sehr stark gefallen hat. Das Vertrauen in das System war sehr hoch, obwohl es auch eine mittel hohe Konzentration erfordert. Aber alle Probanden sprechen positiv über die leichte Erlernbarkeit des Systems. Dabei ist es weitestgehend selbsterklärend und die eingeblendeten Informationen waren unmittelbar verständlich. Das LAS hat fast alle Probanden stark entlastet, so dass das Fahren mit dieser Hilfe auch sehr komfortabel war. Jedoch schwanken die Antworten, ob man unter Einsatz des LAS risikoreicher gefahren sei. Hierbei war die Antwortstruktur sehr heterogen. Jedoch stimmen fast alle Probanden mit der Meinung überein, dass die Verkehrssicherheit durch das LAS erhöht wird. Auch

wurden sie von der eigentlichen Fahraufgabe nicht sonderlich abgelenkt.

Der Aussage, dass die Hinweise gut zu erkennen waren, stimmten 65 Prozent mit stark und 35 Prozent mit sehr stark zu. Diese empfanden die Probanden auch wenig bis gar nicht ablenkend. 60 Prozent der Teilnehmer fanden sie gar nicht nervig, der Rest nur sehr wenig. Im Gegenteil: 60 Prozent empfanden sie als *stark hilfreich* und 40 Prozent sogar als *sehr stark hilfreich*.

Alle Probanden fanden, dass die tatsächliche Bewegung des Gespanns mit der erwarteten Bewegung übereinstimmt. 64 Prozent der Probanden, die in die Situation kamen, dass sie vom System vor gefährlichen Lenkwinkeln gewarnt wurden, stuften diese Warnungen als ausreichend ein. Trotzdem wurden einige Punkte als Verbesserungsvorschläge genannt. So wünscht sich ein Fahrer eine ständige Anzeige des aktuellen Lenkwinkels, um frühzeitig gefährliche Situationen zu erkennen. In gefährlichen Situationen könnten Fahrer zusätzlich auch durch ein akustisches Signal unterstützt werden. Hilfreich stellen sich einige Probanden zum Beispiel auch eine Farbskala oder eine Prozentangabe vor, die den Fortschritt bis zu einem gefährlichen Lenkwinkel darstellt. Im Allgemeinen wünschen sich einige Probanden größere Symbole als die verwandten. Auch ein Aufblitzen der Symbole könnte eine bessere Warnung darstellen.

Nun wurde näher auf die Versuchsfahrt mit dem Sattelanhänger eingegangen. Zuerst sollte der Schwierigkeitsgrad der Fahraufgaben geradeaus rückwärts fahren, rückwärts um eine Kurve fahren, rückwärts einparken und rückwärts parallel versetzen ohne LAS auf einer Skala von sehr leicht bis sehr schwierig beurteilt werden. Die meisten Antworten bei geradeaus rückwärts fahren kamen bei *leicht*. Rückwärts um eine Kurve empfanden die Probanden als mittel bis schwierig. Rückwärts einparken wurde als mittel und rückwärts parallel versetzen als mittel bis schwierig eingestuft. Die Schwierigkeitsgrade derselben Fahraufgaben wurde mit LAS anders eingestuft. Geradeaus rückwärts fahren beurteilten die meisten Probanden als sehr leicht. Die anderen drei Fahraufgaben wurden alle hauptsächlich als leicht eingestuft. Als Zusammenfassung wurde in Frage 8 dann abgefragt, wie sinnvoll (sinnvoll, teilweise sinnvoll, nicht sinnvoll) die Probanden den Einsatz des LAS für die Fahraufgaben geradeaus rückwärts fahren, rückwärts um eine Kurve fahren, rückwärts einparken, rückwärts parallel versetzen und rückwärts an eine Rampe fahren halten. Bei jeder dieser Fahraufgaben antworteten über 90 Prozent mit sinnvoll.

Die gleichen Fragen wurden dann auch zur Fahrt mit dem Einachsanhänger gestellt. Hierbei beurteilten die Testfahrer ohne LAS die Fahraufgabe geradeaus rückwärts fahren als leicht, rückwärts um eine Kurve fahren als schwierig, rückwärts einparken als mittel und rückwärts parallel versetzen als sehr schwierig. Bei aktiviertem LAS empfanden die Probanden alle vier Fahraufgaben als leichter als ohne LAS. Geradeaus rückwärts fahren wurde als sehr leicht und die anderen drei Fahraufgaben als leicht bewertet. Dieses Ergebnis spiegelte sich auch in der zusammenfassenden Frage 11 wider. Bei allen fünf Fahraufgaben wurde das LAS mit über 90 Prozent als sinnvoll angesehen.

35 Prozent der Probanden würden bei einem Assistenzsystem als Grad der Automatisierung akzeptieren, dass es Vorschläge macht. Genau dieselbe Anzahl der Befragten tendiert dazu, dass das Assistenzsystem automatisch agiert, wenn der Fahrer es will. 20 Prozent akzeptieren bei Problemen automatisch eingreifende Systeme. Und 10 Prozent würden ein Assistenzsystem bevorzugen, welches immer völlig automatisch handelt. Die Gebrauchstauglichkeit des getesteten optischen LAS wurde von 90 Prozent der Probanden als sehr hoch bis hoch eingeschätzt, und 95 Prozent würden dem System auch im Realfahrzeug vertrauen. 80 Prozent würden sich das System sogar in ihrem eigenen Fahrzeug wün-

schen. Insgesamt würden 90 Prozent der Teilnehmer bei Fahraufgaben mit Rückwärtsfahrt lieber mit als ohne LAS fahren. 85 Prozent der Probanden sind sogar so von dem System überzeugt, dass sie es selber kaufen würden. Der meistgenannte akzeptierte Preis lag hierfür zwischen 200 und 500 Euro bei einem PKW. Bei gewerblicher Nutzung im LKW sei auch ein entsprechend höherer Preis angemessen.

Auf die Frage, ob man es begrüßen würde, dass die Ausbildung zum Kraftfahrer durch computer-basiertes Lernen unterstützt wird, antworteten 80 Prozent mit ja und 20 Prozent mit vielleicht. Den getesteten Fahrsimulator hielten für diese Zwecke 90 Prozent für sinnvoll. Dieses Ergebnis schlug sich auch in der Frage nach akzeptierten Mitteln für die Computerunterstützung nieder. Hier würden 95 Prozent einen Fahrsimulator und 35 Prozent elektronische Fragebögen und Tests akzeptieren.

Nach Ausfüllen des Fragebogens wurde eine kleine Diskussion mit den Testfahrern geführt, in der diese in ungezwungener Atmosphäre ihre Meinung äußern sollten. Hier wurde speziell auf Stärken und Schwächen des Simulators und des optischen Lenkassistenzsystems eingegangen. So waren sich fast alle Probanden einig, dass während des Einsatzes des LAS die Sicht in die Außenspiegel unterstützend nicht fehlen darf. Dies wurde von fast allen Probanden während der Fahrt mit LAS anfangs stark vernachlässigt. Je mehr sie sich an das Assistenzsystem gewöhnt hatten, bemerkte man auch wieder eine stärkere Nutzung der Außenspiegel und auch der kontrollierenden Sicht nach vorne beim rückwärts Rangieren. Speziell die Berufskraftfahrer, die auf das Rückwärtsfahren mit Außenspiegeln trainiert sind, mussten sich erst an das Assistenzsystem gewöhnen, weil es für sie völlig neu war mit einer solchen Hilfe zu fahren. Im Gegensatz dazu nahmen ungeübte Probanden das LAS sofort als Hilfe an.

Zur Realitätsnähe des Simulators und der Simulation wurde angemerkt, dass dynamische Schatten diese erheblich realitätsnäher machen würden. Auch Displays, die die Sicht nach links und rechts aus den Seitenscheiben simulieren, würden erheblich zu einem realitätsgetreuen Simulator führen. Ein Proband schlug auch vor, dass es praktisch sein könnte, wenn man die Rückfahrlampen und insbesondere das Bremslicht simulieren würde. Die Leuchten könnten bei der Abstandsabschätzung sehr hilfreich sein.

Zusammenfassend kann man sagen, dass alle Probanden das optische LAS positiv bewertet haben. Das System wurde als gut entwickelt und umgesetzt beurteilt. Bei den Warnungen vor gefährlichen Lenkwinkeln wurden einige Verbesserungsvorschläge genannt, weil viele Probanden nicht hinreichend vor solchen Situationen gewarnt wurden. Den Nutzen des optischen LAS belegen sehr gut die Fragen 6 bis 11. Die Schwierigkeitsgrade aller Fahraufgaben wurden grundsätzlich mit LAS einfacher als ohne LAS bewertet, und ein Großteil der Probanden empfand den Einsatz des Systems bei Sattelanhänger und Einachsanhänger als sinnvoll. Dieses Ergebnis wird durch die Fragen, ob sich der Proband das System im eigenen Fahrzeug wünschen würde und ob er lieber mit oder ohne LAS fahren würde, eindeutig bestätigt. Die Fragen, die sich auf das CBT beziehen, zeigen, dass die Fahrer grundlegend offen gegenüber dieser neuen Technik sind und sich viele diese Art als Zusatz in der Ausbildung vorstellen könnten. Anders als bei der Auswertung des Fahrtablaufs (vgl. Kapitel 5.2.2) konnte man bei der Auswertung des abschließenden Fragebogens nicht unbedingt erkennen, ob der Proband ein Laie, Fahrlehrer oder Berufskraftfahrer war. Alle Fragebögen hatten bei den Antworten die gleiche Tendenz.

5.4 Subjektive Bewertung durch Fahrlehrer für den Einsatz in der Ausbildung

Da über den Simulator und die PC-Version zusätzlich eine Meinung eingeholt werden sollte, wurden die an der Evaluation teilnehmenden Fahrlehrer zusätzlich über die Qualität und den Nutzen beider Systeme befragt. Hierbei wurde ein Schwerpunkt auf die Ausbildung der Berufskraftfahrer gelegt, weil herausgefunden werden sollte, ob und wie diese beiden Systeme im Rahmen der Ausbildung einsetzbar sind.

Am Anfang des Fragebogens „Nachher Fahrlehrer“ (siehe Anhang) wurden die befragten fünf Fahrlehrer allgemein zum getesteten Simulator befragt. Bei der ersten Frage sollten die Probanden mithilfe einer Skala von *sehr stark* bis *gar nicht* ankreuzen, inwieweit sie verschiedenen Aussagen zustimmen. Folgende Antworten wurden den Aussagen zugeordnet:

Der Simulator gefiel mir gut 60 Prozent sehr stark, 20 Prozent stark, 20 Prozent sehr wenig

Die 3D-Welt war übersichtlich 20 Prozent sehr stark, 80 Prozent stark

Der Simulator erfordert hohe Konzentration 40 Prozent stark, 60 Prozent mittel

Alles in der 3D-Welt war gut zu erkennen 40 Prozent sehr stark, 60 Prozent stark

In der 3D-Welt kann man sich gut zurechtfinden 20 Prozent sehr stark, 80 Prozent stark

Das Fahrzeug reagierte wie erwartet 80 Prozent stark, 20 Prozent mittel

Das Cockpit realitätsnah 40 Prozent sehr stark, 60 Prozent stark

Abstände waren gut zu erkennen 20 Prozent sehr stark, 60 Prozent stark, 20 Prozent mittel

Die Fahrt im Simulator war realitätsnah 60 Prozent stark, 20 Prozent mittel, 20 Prozent gar nicht

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Probanden den meisten Aussagen über den Simulator sehr positiv zugestimmt haben. Bei einigen Punkten gab es von einem Fahrlehrer etwas schlechtere Beurteilungen. Bei diesem Fahrlehrer handelte es sich nennenswerter Weise immer um denselben (Proband 11). Sehr auffällig bei der Auswertung ist allerdings, dass die anderen Probanden immer ziemlich genau dieselben Antworten gegeben haben. Und diese waren bei jeder Aussage durchweg positiv. Der Simulator erfordert zwar eine hohe Konzentration, aber bei der Qualität des Simulators und der Simulation wurde bei allen Aussagen sehr stark bis stark zugestimmt.

Dann sollten die Fahrlehrer nennen, was sich am Simulator beim Einsatz in der Ausbildung besonders eignet. Das leichte Vermitteln von Lehrsätzen und das Arbeiten zusammen mit einer Gruppe wurden als eine Antwort genannt. Außerdem sei der Simulator eine sehr umweltschonende Alternative zur Realfahrt, denn hierbei entstehen keine Abgase.

Auch sei in Realität gerade beim rückwärts Rangieren der Reifenverschleiß sehr hoch. Generell sei der Simulator besonders geeignet für die ersten Fahrversuche eines Fahranfängers bevor man diesen mit einem Realfahrzeug fahren läßt. Neben dem allgemeinen Training des Rückwärtsfahrens könne man auch immer wieder besonders schwierige Situationen wiederholen. Dies sei besonders interessant mit den verschiedenen Fahrzeugkombinationen. Proband 11 antworte auf diese Frage gar nicht.

Auf die Frage, was in der Ausbildung auf dem Simulator geübt werden könnte, wurde mit jeweils 80 Prozent Rückwärtsfahren/Rangieren und seitliches Rangieren genannt. 60 Prozent der Probanden antworteten, dass das Gefühl für Fahrzeuge mit Anhänger und für das gesamte Gespann hierdurch geübt werden könne und 20 Prozent sahen auch eine Möglichkeit das normale geradeaus Fahren zu trainieren. Im nachträglichen Gespräch stellte sich heraus, dass dieses für die Fahrpraxis sehr wichtig sei. So sei es sinnvoll, den Fahrschüler zum Beispiel die ersten drei Fahrstunden erst auf dem Simulator fahren zu lassen, so dass er ein generelles Gefühl für das Gespann bekommt. Auch die Handfertigkeiten beim Bedienen des Fahrzeuges würden Fahrschüler am Anfang sehr belasten und überfordern. Hierzu zähle zum Beispiel die Bedienung der Schalter und der Gangschaltung. Proband 11 antwortete auf diese Frage gar nicht.

Generell befanden 80 Prozent der Fahrlehrer den Simulator als Ergänzung zur Berufskraftfahrerausbildung als geeignet. Nur einer (Proband 11) bezeichnete ihn als ungeeignet. Als besonders geeignet haben die Fahrlehrer den Simulator angesehen, weil generell Computer für heutige junge Schüler sehr interessant seien. Die Schüler hätten das Empfinden, dass alles Aktuelle heutzutage mit Computern zu tun haben solle. Auch hier wurde wieder als Grund die Kostenersparnis, Zeitersparnis und die Umweltverträglichkeit angeführt. Proband 11, der den Simulator nicht für die Ausbildung geeignet hielt, begründete diese Meinung mit der für ihn unrealistischen Wiedergabe und dem fehlenden Fahrgefühl. Als genereller Verbesserungspunkt am Simulator wurde genannt, dass es realistischer sei, wenn das Bild des rechten Außenspiegels etwas kleiner dargestellt würde. In der Realität sei der Spiegel auch weiter vom Fahrer entfernt als der linke und erscheint dadurch kleiner. Auch könnte ein Warnsignal bei kritischen Fahrmanövern hilfreich sein. Positiv wurde angemerkt, dass der Simulator schon vom Cockpit her sehr realitätsgetreu ist, da der Fahrstand mit originalen Komponenten der Mercedes Actros-Serie aufgebaut ist. Auch die sehr gute Eignung für die Rückwärtsfahrt wurde wiederholt angemerkt.

Die weiteren Fragen bezogen sich nun auf die PC-Version. Diese waren denen zum Simulator ähnlich. So wurde wieder auf einer Skala von *sehr stark* bis *gar nicht* die Zustimmung der Probanden zu diversen Aussagen abgefragt.

Das System gefiel mir gut 20 Prozent stark, 60 Prozent mittel, 20 Prozent gar nicht

Die 3D-Welt ist übersichtlich 20 Prozent sehr stark, 80 Prozent stark

Das System erfordert hohe Konzentration 20 Prozent sehr stark, 20 Prozent stark, 60 Prozent mittel

Alles in der 3D-Welt war gut zu erkennen 20 Prozent sehr stark, 80 Prozent stark

In der 3D-Welt kann man sich gut zurechtfinden 20 Prozent sehr stark, 80 Prozent stark

Das Fahrzeug reagierte wie erwartet 60 Prozent stark, 20 Prozent mittel, 20 Prozent wenig

Das Lenkrad reagiert erwartungsgemäß 40 Prozent mittel, 60 Prozent wenig

Abstände waren gut zu erkennen 20 Prozent sehr stark, 40 Prozent stark, 40 Prozent mittel

Die Fahrt am PC war realitätsnah 20 Prozent sehr stark, 40 Prozent stark, 20 Prozent mittel, 20 Prozent gar nicht

Zusammenfassend kann man zur Frage 6 sagen, dass die PC-Version den Probanden mittelmäßig gefallen hat. Nur einem Probanden (Proband 11) gefiel sie gar nicht. Die Verarbeitung der Simulation an sich und die 3D-Welt sagte den Probanden stark zu. Nur das Lenkrad reagierte wenig erwartungsgemäß. Auch die Realitätsnähe wurde als stark bewertet. Nur Proband 11 fand die Simulation überhaupt nicht realitätsnah.

Auf die Frage was sich an der PC-Version besonders für die Ausbildung eignen würde, wurden dieselben Antworten wie zur analogen Frage 2 zum Simulator gegeben. Ein weiterer Vorteil der PC-Version sei, dass diese schnell aufbaubar und erheblich kostengünstiger sei. Proband 11 beantwortete diese Frage nicht.

Die Antworten auf die Frage, was in der Ausbildung auf dem System geübt werden könne, verliefen ähnlich wie beim Simulator. Jeweils 80 Prozent antworteten Rückwärtsfahren/Rangieren und seitliches Rangieren. 40 Prozent sagten, dass das Gefühl für Fahrzeuge mit Anhänger und für das gesamte Gespann entwickelt werden könne. 20 Prozent fanden das System auch für das normale geradeaus Fahren sinnvoll. Proband 11 beantwortete diese Frage nicht.

Insgesamt gesehen sagten 80 Prozent der Fahrlehrer, dass sich die PC-Version zum Einsatz in der Ausbildung eignen würde. Nur ein Fahrlehrer (Proband 11) bezeichnete das System als ungeeignet. Die Gründe hierfür waren wieder ähnlich der analogen Frage für den Simulator. Computer seien generell wie ein Magnet für junge Leute, also dürfe auch so ein System in einer Fahrschule nicht fehlen. Im Vordergrund stehen auch die Argumente Zeitersparnis, Umweltschutz und Kostenersparnis. Proband 11 begründete seine Abneigung damit, dass Fahranfänger kein Gefühl für Höhe, Breite und Gewicht des Fahrzeuges bekämen. Das Lenkverhalten ließe sich nur schwer auf die Realität übertragen.

Auf die Frage, ob es für die PC-Version Verbesserungsvorschläge gibt, wurde ein noch größerer Bildschirm vorgeschlagen. Am Besten würde sich hierfür wie beim Simulator eine Leinwand eignen.

Zum Abschluß des Fragebogens wurden allgemeine Fragen zu den getesteten Systemen und zur computerunterstützten Fahrerausbildung gestellt. Auf die Frage, ob man sich die beiden getesteten Systeme für den Einsatz in der Ausbildung vorstellen könne, antwortete kein Proband, dass er sich nur den Simulator dafür vorstellen könne. 40 Prozent könnten sich nur die PC-Version und weitere 40 Prozent könnten sich sogar beide Systeme als Unterstützung für die Ausbildung vorstellen. Nur ein Fahrlehrer (Proband 11) könne sich kein System der beiden für solche Zwecke vorstellen.

Mit dem Hintergrund der zwei Testfahrten mit dem Simulator und der PC-Version war es nun interessant abzufragen, wie die Probanden nun mit diesen Erfahrungen den Nutzen von Computerunterstützung während der Ausbildung beurteilen. 80 Prozent antworteten hierbei mit *sinnvoll* und nur Proband 11 mit *nicht sinnvoll*.

5.4. SUBJEKTIVE BEWERTUNG DURCH FAHRLEHRER FÜR DEN EINSATZ IN DER AUSBILDUNG

Zusammenfassend kann man nun über den gesamten Fragebogen sagen, dass die Probanden weitestgehend von den Simulatoren positiv angetan waren. Es gab zwar auch eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen, aber hauptsächlich wurden die Umsetzungen der beiden Systeme gut bewertet, und die Fahrlehrer sahen sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten im Rahmen der Berufskraftfahrerausbildung. Nur Proband 11 war mit beiden Systemen gar nicht zufrieden. Ein Proband gab am Ende der Befragung noch an, dass er sich sehr freuen würde, wenn man die Systeme in Zukunft in der Realität wiederfinden würde.

Kapitel 6

Schlusswort

6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studienarbeit sollten die von der Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme entwickelten Simulatoren und das optische LAS evaluiert werden. Zu Beginn wurden die Problematiken des Rückwärtsfahrens und die Aufgaben- und Fragestellung erörtert. Nachdem auf Belastungen und Beanspruchungen des Fahrers bei der Verwendung von Fahrerassistenzsystemen eingegangen wurde, wurden die technischen Evaluationsumgebungen ausführlich beschrieben und erklärt. Hierbei handelte es sich um das LAS, den Simulator und die PC-Version des Simulators.

Dann ging es zur eigentlichen Durchführung der Evaluation. Nachdem die Kriterien zur Probandenauswahl dargestellt wurden, wurde der Ablauf der Evaluation beschrieben, die mit 20 Probanden nach einem festgelegten Ablauf durchgeführt wurde. Zur Messung der Fahrerbelastung wurden die drei Möglichkeiten Hautwiderstand, Pulsmessung und Videoaufzeichnung diskutiert. Mit den unter den Probanden befindlichen fünf Fahrlehrern wurde eine Testfahrt mit der PC-Version unternommen. Alle Probanden mussten vor und nach der Evaluation entsprechende Fragebögen ausfüllen, die Auskunft über die Person, die Erfahrungen, Qualität und Nutzen der Systeme liefern sollten. Bei der Befragung vor der Testfahrt kam heraus, dass das Rückwärtsfahren mit Anhänger als grundsätzlich schwierig bis sehr schwierig angesehen wird. Bei der Befragung nach der Testfahrt wurde das optische LAS von allen Probanden positiv bewertet. Neben einigen Verbesserungsvorschlägen wurde das System aber als gut entwickelt angesehen. Alle Fahraufgaben wurden vom Schwierigkeitsgrad her mit LAS einfacher eingestuft als ohne LAS. Auch einen Einsatz des Systems zur Ergänzung der Fahrschulausbildung würden viele Probanden begrüßen. Während der Testfahrten wurde ein Protokoll geführt, in dem Zeiten, Unfälle und Rangiermanöver festgehalten wurden. Fast alle Probanden konnten die Fahraufgaben mit LAS erheblich schneller absolvieren als ohne LAS. Auch die Häufigkeit von Unfällen und Rangiermanövern wurde drastisch reduziert. Die erfahrenen Berufskraftfahrer waren mit LAS zwar fast alle genauso schnell wie ohne LAS, allerdings konnte man unter Einsatz des LAS eine sicherere und präzisere Fahrweise erkennen. Die Fahrlehrer bewerteten außerdem noch die Qualität und Verarbeitung des Simulators und der PC-Version in Hinblick auf die Fahrschulausbildung für Berufskraftfahrer. Hiervon waren die Fahrlehrer sehr angetan und vier von fünf Fahrlehrern würden einen Einsatz der Systeme in

der Ausbildung für Berufskraftfahrer begrüßen. Auch die Umsetzung und Gestaltung der Systeme wurde als ausgereift und sehr geeignet bewertet.

Am Ende dieser Arbeit stand dann die Auswertung der Fragebögen und der Testfahrten an. Diese Instrumente lieferten wichtige Erkenntnisse über den Simulator, die PC-Version und das LAS.

6.2 Bewertung

Aus den Auswertungen der gelaufenen Evaluation kann man entnehmen, dass alle Probanden das LAS positiv bewertet haben. Die Testteilnehmer empfanden den Einsatz des LAS als große Hilfe und Erleichterung, weil ihnen viel physische, psychische und kognitive Belastung beim rückwärts Rangieren durch das Assistenzsystem abgenommen wird. Das wurde besonders deutlich, als die Fahrer die Schwierigkeitsgrade von Fahraufgaben ohne LAS und unter Einsatz des LAS bewerten sollten. Alle Probanden empfanden jede Fahraufgabe mit LAS leichter als ohne LAS. Auch die abschließende Bewertung ergab, dass das optische LAS sehr sinnvoll bei beiden Anhängertypen angesehen wurde. Auch bei der Auswertung des Fahrtablaufs konnte man erkennen, dass die Laien und ungeübten Fahrer mit LAS bedeutend schneller und sicherer die Fahraufgaben meisterten als ohne LAS. Ohne LAS wurden viele Fahraufgaben überhaupt nicht zu Ende ausgeführt. Bei den Berufskraftfahrern und Fahrlehrern konnte man erkennen, dass diese fast alle Fahraufgaben erfolgreich lösten. Im Vergleich der Fahrten mit und ohne LAS, wurde ein Hauptteil der Fahraufgaben zeitgleich durchgeführt, allerdings konnte man bei fast allen Fahraufgaben unter Einsatz des LAS ein sichereres und präziseres Manövrieren erkennen. Die erfahrenen Fahrer bestätigten den Nutzen des LAS nach der Fahrt auch damit, dass sie sagten, dass es sie enorm entlastet habe. Die Tatsache, dass die Berufskraftfahrer und Fahrlehrer die gestellten Fahraufgaben auch ohne LAS sehr schnell und präzise ausführen konnten, beweist, dass die Qualität des Simulators an sich ebenfalls als sehr hoch anzusehen ist. Viele Fahrer bestätigten dies auch durch die Aussage, dass das Rangieren der Fahrzeuge sehr realitätsnah war.

Auch die PC-Version wurde von den Fahrlehrern gut bewertet. Die Qualität der Simulation und der 3D-Welt reiche völlig aus für die Zwecke, die man mit dieser Version erfüllen möchte. Für die Ausbildung zum Berufskraftfahrer seien beide Systeme, also Simulator und PC-Version, denkbar. Allerdings ziehen hierbei viele Fahrlehrer aufgrund der Portabilität und der geringeren Kosten die PC-Version vor. Nur ein Fahrlehrer war von Anfang an nicht von den Vorteilen der PC-Version zu überzeugen. Dieser verglich während der Evaluation das System immer wieder mit einem hochauflösenden PC-Spiel, was in keinem Vergleich zur Simulation stehen sollte und auch nicht kann. Die Simulation wurde unter anderem für Zwecke der Berufskraftfahrerausbildung entwickelt und für diese Zielgruppe optimiert. Von den meisten Fahrlehrern wurde während der Evaluation auch bestätigt, dass sie anders antworten würden, wenn sie in den Simulatoren Konkurrenten für ihre Leistung als Fahrlehrer sehen würden. Die Simulatoren könnten einige Teile der Ausbildung billiger und einfacher übernehmen, was eventuell viele Fahrlehrer negativ für ihren finanziellen Verdienst auslegen könnten. Diese Hintergedanken könnten auch im Fall von Proband 11 zu seinen Antworten geführt haben. Generell hat dieser Fahrlehrer die Systeme eher als Spiel als eine Hilfe zum Üben von Fahrmanövern angesehen. Zum Abschluss

sollte man erwähnen, dass diese getesteten Systeme keineswegs als Ersatz der Fahrer-ausbildung entwickelt wurden. Sie können und sollen nicht die praktischen Fahrstunden im Rahmen der Ausbildung ersetzen. Vielmehr sollen sie Fahranfängern den Einstieg in das Fahren mit Gespannen erleichtern. Und für diese Zwecke haben alle Systeme in der Evaluation gute Bewertungen bekommen.

6.3 Ausblick

Die Qualität des optischen LAS ist bis auf wenige Verbesserungsvorschläge schon sehr ausgereift und wäre sowohl im privaten als auch im gewerblichen Bereich eine große Erleichterung für Fahrer von Gespannen. Der Einsatz im Simulator ist auch für die Ausbildung zum Berufskraftfahrer sehr interessant und auch schon sehr ausgereift. Es sollten in Zukunft einige Verbesserungsvorschläge im Projektteam diskutiert werden:

- Einsatz von dynamischen Schatten
- Seitenscheiben nach links und rechts
- Verkleinerung des rechten Außenspiegels
- Warnungen vor gefährlichen Lenkwinkeln durch Aufblinken oder eine Fortschrittskala erweitern
- Warnungssymbole vergrößern

Auch die PC-Version stellt eine Hilfe für die Ausbildung dar. Besonders von Vorteil sind hier die erhöhte Portabilität und die geringeren Anschaffungskosten. Hier sollten zwei Verbesserungsvorschläge diskutiert werden:

- Ersatz des Lenkrades durch ein Lenkrad mit realistischeren Eigenschaften
- Projektion der Sichten auf eine große Leinwand

Insgesamt betrachtet sind die getesteten Systeme jedoch sehr ausgereift und für einen Einsatz in der Realität geeignet.

Anhang A

Fragebögen

1. Fragebogen vor der Versuchsfahrt für Experten und Laien

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

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu Ihrer Person, sowie zu Ihrer Erfahrung zum Thema „Rückwärtsfahren“. Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an. Antworten Sie bitte aufrichtig und gut überlegt. Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungsarbeiten. Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

1) Fragen zur Person:

1. Alter
2. Geschlecht männlich weiblich
3. Ausgeübter Beruf _____
4. Welche Führerscheinklasse(n) besitzen Sie?
Und wie lange besitzen Sie diesen Führerschein jeweils?

Klasse				
seit (Jahr)				
5. Wie viele Kilometer legen Sie etwa in einem Jahr zurück?

< 10 000	<input type="checkbox"/>
10 000 – 20 000	<input type="checkbox"/>
20 000 – 30 000	<input type="checkbox"/>
> 30 000	<input type="checkbox"/>
6. Spielen Sie regelmäßig Computerspiele?

mehr als 15 Stunden pro Woche	<input type="checkbox"/>
mehr als 10 Stunden pro Woche	<input type="checkbox"/>
mehr als 5 Stunden pro Woche	<input type="checkbox"/>
weniger als 5 Stunden pro Woche	<input type="checkbox"/>
gar nicht	<input type="checkbox"/>
7. Wenn ja, welche?

Rennspiele	<input type="checkbox"/>
Ego-Shooter	<input type="checkbox"/>
Strategiespiele	<input type="checkbox"/>
Kartenspiele	<input type="checkbox"/>
Adventure	<input type="checkbox"/>
Sonstige: _____	
8. Haben Sie bereits Simulatorerfahrung?
Wenn ja, welche?

Keine Erfahrung	<input type="checkbox"/>
PC mit Lenkrad	<input type="checkbox"/>
PC mit Joystick	<input type="checkbox"/>
Fahrsimulator	<input type="checkbox"/>
Sonstige: _____	
9. Wie beurteilen Sie Ihr Interesse an technischen Neuerungen im Bereich der Automobilindustrie?

hoch	<input type="checkbox"/>
mittel	<input type="checkbox"/>
niedrig	<input type="checkbox"/>
10. Wie denken Sie über den Einsatz von Computern oder Simulatoren in der Ausbildung zum Berufskraftfahrer?
(computer based learning)

sinnvoll	<input type="checkbox"/>
nicht sinnvoll	<input type="checkbox"/>
weiß nicht	<input type="checkbox"/>
11. Welchen Einsatz würden Sie wenn bevorzugen?

computerbasierte Fragebögen	<input type="checkbox"/>
computerbasierte Tests	<input type="checkbox"/>
Simulatorfahrten	<input type="checkbox"/>

2) Fragen zum Thema „Rückwärtsfahren“:

12. Sind Sie schon mal ein Fahrzeug mit Anhänger rückwärts gefahren? ja
nein

13. Wenn ja, welche Anhängertypen? Und wie oft?

	Einachser (z.B. Wohnwagen)	Zweiachser	Sattelanhänger
täglich			
mehrmals in der Woche			
mehrmals im Monat			
mehrmals im Jahr			
seltener			

14. Auf welchen Bereich beziehen sich die Fahrten mit Anhängern? privat
beruflich

15. Wie beurteilen Sie den Schwierigkeitsgrad des Rückwärtsfahrens ohne Anhänger? sehr leicht
leicht
mittel
schwierig
sehr schwierig

16. Wie beurteilen Sie den Schwierigkeitsgrad des Rückwärtsfahrens mit Anhänger? sehr leicht
leicht
mittel
schwierig
sehr schwierig
keine Erfahrung

17. Wie schätzen Sie die Schwierigkeit der aufgeführten Fahraufgaben mit einem Sattelanhänger ein?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren						
rückwärts um eine Kurve fahren						
rückwärts einparken						
rückwärts parallel versetzen						

18. Wie schätzen Sie die Schwierigkeit der aufgeführten Fahraufgaben mit einem Einachser ein?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren						
rückwärts um eine Kurve fahren						
rückwärts einparken						
rückwärts parallel versetzen						

19. Was sehen Sie als Ursache für die Probleme / Schwierigkeiten beim Rückwärtsfahren?

eingeschränkte Sicht
 ungewohnte Situation / Erfahrungsmangel
 unlogisches Lenkverhalten

Sonstiges: _____

2. Fragebogen vor der Versuchsfahrt für Fahrlehrer

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

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zu Ihrer Person, sowie zu Ihrer Erfahrung zum Thema „Simulator“. Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an. Antworten Sie bitte aufrichtig und gut überlegt. Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungsarbeiten. Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

1) Fragen zur Person:

1. Alter
2. Geschlecht männlich weiblich
3. Welche Führerscheinklasse(n) besitzen Sie?
Und wie lange besitzen Sie diesen Führerschein jeweils?
- | | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|
| Klasse | | | | | |
| seit (Jahr) | | | | | |
4. Seit wann sind Sie Fahrlehrer für Fahrzeuge mit Anhänger?
5. Auf welchen Anhängertypen bilden Sie Fahrschüler aus?
- | | |
|----------------|--------------------------|
| Einachser | <input type="checkbox"/> |
| Zweiachser | <input type="checkbox"/> |
| Sattelanhänger | <input type="checkbox"/> |
6. Wie viele Kilometer legen Sie selbst etwa in einem Jahr zurück?
- | | |
|-----------------|--------------------------|
| < 10 000 | <input type="checkbox"/> |
| 10 000 – 20 000 | <input type="checkbox"/> |
| 20 000 – 30 000 | <input type="checkbox"/> |
| > 30 000 | <input type="checkbox"/> |
7. Spielen Sie regelmäßig Computerspiele?
- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| mehr als 15 Stunden pro Woche | <input type="checkbox"/> |
| mehr als 10 Stunden pro Woche | <input type="checkbox"/> |
| mehr als 5 Stunden pro Woche | <input type="checkbox"/> |
| weniger als 5 Stunden pro Woche | <input type="checkbox"/> |
| gar nicht | <input type="checkbox"/> |
8. Wenn ja, welche?
- | | |
|-----------------|--------------------------|
| Rennspiele | <input type="checkbox"/> |
| Ego-Shooter | <input type="checkbox"/> |
| Strategiespiele | <input type="checkbox"/> |
| Kartenspiele | <input type="checkbox"/> |
| Adventure | <input type="checkbox"/> |
| Sonstige: _____ | |
9. Haben Sie bereits Simulatorerfahrung?
Wenn ja, welche?
- | | |
|-----------------|--------------------------|
| Keine Erfahrung | <input type="checkbox"/> |
| PC mit Lenkrad | <input type="checkbox"/> |
| PC mit Joystick | <input type="checkbox"/> |
| Fahrsimulator | <input type="checkbox"/> |
| Sonstige: _____ | |
10. Wie beurteilen Sie Ihr Interesse an technischen Neuerungen im Bereich der Automobilindustrie?
- | | |
|---------|--------------------------|
| hoch | <input type="checkbox"/> |
| mittel | <input type="checkbox"/> |
| niedrig | <input type="checkbox"/> |

11. Wie denken Sie über den Einsatz von Computern oder Simulatoren in der Ausbildung zum Berufskraftfahrer?
(Computer Based Learning)
- sinnvoll
nicht sinnvoll
weiß nicht
12. Welchen Einsatz würden Sie wenn bevorzugen?
- computerbasierte Fragebögen
computerbasierte Tests
Simulatorfahrten
13. Haben Sie selber schon einmal bei der Ausbildung Computer Based Learning angewandt?
- ja
nein
14. Falls ja, in welcher Form?
-
-
-

2) Fragen zum Thema „Rückwärtsfahren“:

15. Sind Sie schon mal ein Fahrzeug mit Anhänger rückwärts gefahren? ja
nein

16. Wenn ja, welche Anhängertypen? Und wie oft?

	Einachser (z.B. Wohnwagen)	Zweiachser	Sattelanhänger
täglich			
mehrmals in der Woche			
mehrmals im Monat			
mehrmals im Jahr			
seltener			

17. Auf welchen Bereich beziehen sich Ihre Fahrten mit Anhängern? privat
beruflich

18. Wie beurteilen Sie den Schwierigkeitsgrad des Rückwärtsfahrens ohne Anhänger? sehr leicht
leicht
mittel
schwierig
sehr schwierig

19. Wie beurteilen Sie den Schwierigkeitsgrad des Rückwärtsfahrens mit Anhänger? sehr leicht
leicht
mittel
schwierig
sehr schwierig
keine Erfahrung

20. Wie schätzen Sie die Schwierigkeit der aufgeführten Fahraufgaben mit einem Einachser ein?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren						
rückwärts um eine Kurve fahren						
rückwärts einparken						
rückwärts parallel versetzen						

21. Wie schätzen Sie die Schwierigkeit der aufgeführten Fahraufgaben mit einem Sattelanhänger ein?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren						
rückwärts um eine Kurve fahren						
rückwärts einparken						
rückwärts parallel versetzen						

22. Wie schätzen Sie die Schwierigkeit der aufgeführten Fahraufgaben mit einem Zweiachser ein?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren						
rückwärts um eine Kurve fahren						
rückwärts einparken						
rückwärts parallel versetzen						

23. Was sehen Sie als Ursache für die Probleme / Schwierigkeiten beim Rückwärtsfahren?

eingeschränkte Sicht
 ungewohnte Situation / Erfahrungsmangel
 unlogisches Lenkverhalten

Sonstiges: _____

3. Stimmt die tatsächliche Bewegung des Gespanns mit der erwarteten Bewegung überein? ja
nein
4. Wurden Sie in ausreichendem Maße vor gefährlichen Lenkwinkeln gewarnt? ja
nein
5. Was würden Sie an der Warnung verbessern? _____

6. Wie beurteilen Sie die Schwierigkeit angesichts der aufgeführten Fahraufgaben ohne LAS im Simulator beim Sattelanhänger?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts um eine Kurve fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts einparken		<input type="checkbox"/>				
rückwärts parallel versetzen		<input type="checkbox"/>				

7. Wie beurteilen Sie die Schwierigkeit angesichts der aufgeführten Fahraufgaben mit LAS im Simulator beim Sattelanhänger?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts um eine Kurve fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts einparken		<input type="checkbox"/>				
rückwärts parallel versetzen		<input type="checkbox"/>				

8. Für wie sinnvoll empfanden Sie den Einsatz des LAS bei den jeweiligen aufgeführten Fahraufgaben im Simulator beim Sattelanhänger?

	sinnvoll	teilweise sinnvoll	nicht sinnvoll
geradeaus rückwärts fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts um eine Kurve fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts einparken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts parallel versetzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts an eine Rampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Wie beurteilen Sie die Schwierigkeit angesichts der aufgeführten Fahraufgaben ohne LAS im Simulator beim Einachser?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts um eine Kurve fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts einparken		<input type="checkbox"/>				
rückwärts parallel versetzen		<input type="checkbox"/>				

10. Wie beurteilen Sie die Schwierigkeit angesichts der aufgeführten Fahraufgaben mit LAS im Simulator beim Einachser?

		sehr leicht	leicht	mittel	schwierig	sehr schwierig
geradeaus rückwärts fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts um eine Kurve fahren		<input type="checkbox"/>				
rückwärts einparken		<input type="checkbox"/>				
rückwärts parallel versetzen		<input type="checkbox"/>				

11. Für wie sinnvoll empfanden Sie den Einsatz des LAS bei den jeweiligen aufgeführten Fahraufgaben im Simulator beim Einachser?

	sinnvoll	teilweise sinnvoll	nicht sinnvoll
geradeaus rückwärts fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts um eine Kurve fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts einparken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts parallel versetzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rückwärts an eine Rampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- | | | | |
|-----|---|---|--|
| 12. | Welchen Grad der Automatisierung würden Sie akzeptieren? | keine Unterstützung
nur warnen
Vorschläge machen
automatisch bei Problemen
automatisch, wenn ich es will
immer automatisch | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 13. | Wie schätzen Sie die Gebrauchstauglichkeit / den Nutzen des LAS ein? | sehr hoch
hoch
mittel
gering
sehr gering | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 14. | Würden Sie dem System auch im Realfahrzeug vertrauen? | ja
nein | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 15. | Würden Sie sich das System in Ihrem eigenen Fahrzeug wünschen? | ja
nein | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 16. | Würden Sie insgesamt lieber mit oder ohne LAS fahren? | mit <input type="checkbox"/> ohne <input type="checkbox"/> | |
| 17. | Würden Sie dieses Lenkassistentensystem kaufen? | ja
nein | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 18. | Wenn ja, wie viel würden Sie für dieses System bezahlen? | bis 200 €
bis 500 €
bis 1000 €
mehr als 1000 € | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 19. | Würden Sie es begrüßen, wenn die Ausbildung zum Kraftfahrer durch computer-basiertes Lernen unterstützt würde?
(Computer Based Learning) | ja
nein
vielleicht | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 20. | Wie würden Sie den Einsatz des eben getesteten Simulators in der Ausbildung beurteilen? | sinnvoll
nicht sinnvoll | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |
| 21. | Welche Computer-Unterstützung würden Sie akzeptieren? | Fragebögen / Tests
Simulatoren
Sonstiges: _____

_____ | <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> |

Sonstige Bemerkungen:

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

4. Fragebogen nach der Versuchsfahrt für Fahrlehrer

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

Im Folgenden finden Sie einige Fragen zum eben getesteten Simulator und zum PC mit Lenkrad. Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an. Antworten Sie bitte aufrichtig und gut überlegt. Die Untersuchung dient ausschließlich Forschungsarbeiten. Ihre Daten werden vertraulich behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.

Folgende Fragen beziehen sich nur auf die Fahrt im **Simulator**:

1. Wie stark stimmen Sie den nachfolgenden Aussagen zu?

	sehr stark	stark	mittel	wenig	sehr wenig	gar nicht
a) Der Simulator gefiel mir gut.	<input type="checkbox"/>					
b) Die 3D-Welt war übersichtlich.	<input type="checkbox"/>					
c) Der Simulator erfordert hohe Konzentration.	<input type="checkbox"/>					
d) Alles in der 3D-Welt war gut zu erkennen.	<input type="checkbox"/>					
e) In der 3D-Welt kann man sich gut zurechtfinden.	<input type="checkbox"/>					
f) Das Fahrzeug reagierte wie erwartet.	<input type="checkbox"/>					
g) Das Cockpit ist realitätsnah.	<input type="checkbox"/>					
h) Abstände waren gut zu erkennen.	<input type="checkbox"/>					
i) Die Fahrt im Simulator war realitätsnah.	<input type="checkbox"/>					

2. Was eignet sich am Simulator beim Einsatz in der Ausbildung besonders:

3. Was könnte in der Ausbildung auf dem Simulator geübt werden?

Gefühl für Fahrzeuge mit Anhänger / für das gesamte Gespann

Rückwärtsfahren / rangieren

Seitliches Rangieren

Normales geradeaus Fahren

Sonstiges:

4. Würde sich der Simulator zum Einsatz in der Ausbildung eignen?

ja

nein

weiß nicht

Wenn ja, warum:

Wenn nein, warum nicht:

5. Was würden Sie am Simulator verbessern / Was gefällt Ihnen sehr?

Folgende Fragen beziehen sich nur auf die Fahrt am PC mit Lenkrad:

6. Wie stark stimmen Sie den nachfolgenden Aussagen zu?

	sehr stark	stark	mittel	wenig	sehr wenig	gar nicht
j) Das System gefiel mir gut.	<input type="checkbox"/>					
k) Die 3D-Welt war übersichtlich.	<input type="checkbox"/>					
l) Das System erfordert hohe Konzentration.	<input type="checkbox"/>					
m) Alles in der 3D-Welt war gut zu erkennen.	<input type="checkbox"/>					
n) In der 3D-Welt kann man sich gut zurechtfinden.	<input type="checkbox"/>					
o) Das Fahrzeug reagierte wie erwartet.	<input type="checkbox"/>					
p) Das Lenkrad reagiert erwartungsgemäß.	<input type="checkbox"/>					
q) Abstände waren gut zu erkennen.	<input type="checkbox"/>					
r) Die Fahrt am PC war realitätsnah.	<input type="checkbox"/>					

7. Was eignet sich an dem System beim Einsatz in der Ausbildung besonders:

8. Was könnte in der Ausbildung auf dem System geübt werden?

- Gefühl für Fahrzeuge mit Anhänger / für das gesamte Gespann
- Rückwärtsfahren / rangieren
- Seitliches Rangieren
- Normales geradeaus Fahren

9. Würde sich das System zum Einsatz in der Ausbildung eignen?

- ja
nein
weiß nicht

Wenn ja, warum:

Wenn nein, warum nicht:

Allgemeine Fragen:

10. Könnten Sie sich die beiden getesteten Systeme im Einsatz in der Ausbildung vorstellen?

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| nur den Simulator | <input type="checkbox"/> |
| nur den PC mit Lenkrad | <input type="checkbox"/> |
| beide Systeme | <input type="checkbox"/> |
| keins von beidem | <input type="checkbox"/> |

11. Wie beurteilen Sie jetzt nach den beiden Testfahrten den Nutzen von Computerunterstützung während der Fahrausbildung (Computer Based Learning)?

- | | |
|----------------|--------------------------|
| sinnvoll | <input type="checkbox"/> |
| nicht sinnvoll | <input type="checkbox"/> |
| weiß nicht | <input type="checkbox"/> |

12. Was würden Sie am System verbessern / Was gefällt Ihnen sehr?

Sonstige Bemerkungen:

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Anhang B

Checkliste

Checkliste während der Versuchsfahrt

Proband:
Datum:

Startzeit:

Endzeit:

SATTELANHÄNGER

<u>Fahraufgabe</u>	<u>Zeit</u>	<u>rangiert</u>	<u>Unfälle</u>	<u>Deichsel</u>	<u>Sonstiges</u>	<u>Aufgabe erledigt?</u>
<i>ohne:</i> gerade an HL						
<i>ohne:</i> RK an HL						
<i>ohne:</i> parallel vers. an seil. Rampe						
<i>ohne:</i> gerade in WSH						
<i>ohne:</i> LK an HL						
<i>ohne:</i> LK in Kreuzung						
<i>ohne:</i> parallel in seil. PL						
<i>mit:</i> gerade an HL						
<i>mit:</i> RK an HL						
<i>mit:</i> parallel vers. an seil. Rampe						
<i>mit:</i> gerade in WSH						
<i>mit:</i> LK an HL						
<i>mit:</i> LK in Kreuzung						
<i>mit:</i> parallel in seil. PL						

Proband:
Datum:

Startzeit:

Endzeit:

EINACHSER

<u>Fahraufgabe</u>	<u>Zeit</u>	<u>rangiert</u>	<u>Unfälle</u>	<u>Deichsel</u>	<u>Sonstiges</u>	<u>Aufgabe erledigt?</u>
<i>ohne:</i> gerade an HL						
<i>ohne:</i> RK an HL						
<i>ohne:</i> parallel vers. an seil. Rampe						
<i>ohne:</i> gerade in WSH						
<i>ohne:</i> LK an HL						
<i>ohne:</i> LK in Kreuzung						
<i>ohne:</i> parallel in seil. PL						
<i>mit:</i> gerade an HL						
<i>mit:</i> RK an HL						
<i>mit:</i> parallel vers. an seil. Rampe						
<i>mit:</i> gerade in WSH						
<i>mit:</i> LK an HL						
<i>mit:</i> LK in Kreuzung						
<i>mit:</i> parallel in seil. PL						

Literaturverzeichnis

- [Berg, 2006a] Berg, U., Zöbel, D. (2006a): Visual Steering Assistance for Backing-Up Vehicles with One-axle Trailer. In: Visions in Vehicles 11, Ireland, 2006.
- [Berg, 2006b] Berg, U., Wojke, P., Zöbel, D. (2006b): Driving Simulator as Learning Environment for Backing Up Articulated Vehicles. DSC Asia/Pacific 2006, Tsukuba, 2006.
- [Berg, 2007] Berg, U., Zöbel, D. (2007): Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion von Lenkassistenzsystemen zur Unterstützung der Rückwärtsfahrt von Fahrzeugen mit Anhänger. Koblenz, 2007.
- [Behling, 2006] Behling, C., Kippert, T., Kissinger, S., Kramer, P. (2006): Evaluation von Lenkassistenzsystemen für Fahrzeuge mit Anhänger. Universität Koblenz-Landau, Arbeitsgruppe Echtzeitsysteme, Koblenz, 2006.
- [Bol, 2004] Bol, G. (2004): Deskriptive Statistik. Oldenbourg Verlag, 2004.
- [Buld, 2002] Buld, S., Krüger, H., Hoffmann, S., Kaussner, A., Tietze, H., Totzke, I. (2002): Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrtsicherheit. Projekt EMPHASIS - Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen. Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften, Universität Würzburg, September 2002.
- [Burkschat, 2004] Burkschat, M., Cramer, E., Kamps, U. (2004): Beschreibende Statistik. Grundlegende Methoden. Springer, Berlin, 2004.
- [Denz, 1989] Denz, H. (1989): Einführung in die empirische Sozialforschung. Springer, New York, 1989.
- [Diekmann, 2005] Diekmann, A. (2005): Empirische Sozialforschung. Rowohlt-Taschenbuch-Verlag, Reinbek, 2005.
- [Ellinghaus, 2002] Ellinghaus, D., Steinbrecher, J. (2002): LKW im Straßenverkehr - Eine Untersuchung über die Beziehungen zwischen LKW- und PKW-Fahrern. Uniroyal-Verkehrsuntersuchung 27, Continental AG, Hannover, 2002.
- [ISO 9241-11] International Organization For Standardization (1998). ISO 9241-11: Ergonomic Requirements For Office Work With Visual Display Terminals Part 11: Guidance On Usability. Genf, Schweiz: International Organization For Standardization

- [Johannsen, 1993] Johannsen, G. (1993): Mensch-Maschine-Systeme. Springer, Berlin, 1993.
- [K(1999) 4786] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (1999): Empfehlung der Kommission vom 21. Dezember 1999 an die Mitgliedstaaten und die Industrie über sichere und effiziente On-board-Infomations- und -Kommunikationssysteme: Europäischer Grundsatzkatalog zur Mensch-Maschine-Schnittstelle. Brüssel, 1999.
- [Kewenig, 2006] Kewenig, S., Schaller, E. (2006): Fahr Simulator. Koblenz, 2006.
- [Kiegeland, 1990] Kiegeland, P. (1990): Anforderungen, Beanspruchung und verkehrsrelevante Einstellungen von Berufskraftfahrern - Eine arbeitswissenschaftlich-verkehrspsychologische Felduntersuchung. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, Deutscher Psychologen-Verlag, Bonn, 1990.
- [Konrad, 2005] Konrad, K. (2005): Mündliche und schriftliche Befragung. Verlag empirische Pädagogik, 2005.
- [Kromrey, 2005] Kromrey, H. (1998): Empirische Sozialforschung. Verlag Leske + Budrich, Opladen, 1998.
- [Michon, 1989] Michon, JA (1989): Explanatory pitfalls and rule-based driver models. Accident Analysis and Prevention. 1989.
- [Mitschke, 2004] Mitschke, M., Wallentowitz, H. (2004): Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag, Berlin, 2004.
- [Polar Deutschland, 2006] Polar Electro GmbH (2006): Polar S610i. <http://www.polar-deutschland.de>, Büttelborn, Abruf: 09/2006 .
- [Praxenthaler, 2003] Praxenthaler, M. (2003): Dissertation: Experimentelle Untersuchung zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben während zeitkritischer Fahrsituationen. Universität Regensburg, 2003.
- [SOM Gerätebau, 2007] SOM Biofeedback GmbH (2004): RELAXO-Trainer 2000. Murrhardt, Abruf: 08.05.2007.
- [Tiltmann, 2007] Tiltmann, T., Friedrichs, A. (2007): Versuchsaufbau - Fahr Simulatoranlage (1), Sinneskanäle. In: 3. TecDay S. 25, Aschaffenburg, 2007.
- [Urbas, 2005] Urbas, L., Steffens, C. (2005): Zustandserkennung und Systemgestaltung. In: Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22 Nr. 22, VDI Verlag, Düsseldorf, 2005.