

## **Darstellung und Evaluation eines Trainings zum Fahren in der Fahrsimulation**

### **Driving in a Simulator. Design and Evaluation of a Training Programme.**

Dipl.-Psych. **S. Hoffmann**, Würzburg; Dr. **S. Buld**, Würzburg

#### **Kurzfassung**

Zur Untersuchung verkehrspsychologischer Fragestellungen werden vermehrt Studien innerhalb der Fahrsimulation durchgeführt. Die Vorteile dieser Methode liegen mit einer besseren Standardisierbarkeit von Fahraufgaben und der gefahrlosen Gewinnung von Forschungsergebnissen auf der Hand. Da die reale Fahrumgebung jedoch nie hundertprozentig abgebildet werden kann, müssen Probanden mit bestimmten Schwierigkeiten in der Fahrsimulation umgehen. Die Fahrer müssen Unvollständigkeit der Fahrumgebung, Verzögerungen und Verzerrungen in der Darstellung sowie das Handeln in zwei parallelen Welten kompensieren. Da dies in keiner Fahrsimulation auf Anhieb möglich ist, benötigen die Probanden eine Übungsphase, um sich an den Simulator zu gewöhnen und sich mit dem Fahrverhalten des Simulators vertraut zu machen. Ein großes Problem stellt dabei die sog. „Simulator Sickness“ dar. Häufig müssen Probanden Untersuchungen abbrechen, da beim Fahren in der Simulation Übelkeit auftritt. Die Symptome können mittel bis schwere Grade annehmen und wenige Minuten bis mehrere Stunden nach der Simulatorfahrt andauern. Problematisch ist dabei, dass Simulator Sickness bewusst oder unbewusst dazu führen kann, dass der Fahrer in der Simulation unangemessenes Fahrverhalten zeigt. Dies führt zu Einschränkung sowohl der internen als auch der externen Validität und auch zu Verringerung der Akzeptanz der Methode beim Nutzer. Erfahrungen haben gezeigt, dass wiederholte Simulatorexposition die Beschwerden in der Regel reduziert. Empirische Studien zur Adaption – vor allem aus dem Bereich der Fahrsimulation – liegen kaum vor. In Untersuchungen wird teils darauf hingewiesen, dass die Testfahrer vor Erhebung der Daten Gelegenheit hatten, sich mit dem Simulator vertraut zu machen oder bereits an den Simulator gewöhnt waren. Die Berichte über Eingewöhnungsphasen reichen von 5 Minuten über mehrere Stunden. Einheitliche Richtlinien existieren nicht. Zusammenfassend ist jedoch festzuhalten, dass vor einer Datenerhebung in der Fahrsimulation eine ausreichende Gewöhnungsphase des Fahrers an den Simulator gewährleistet werden muss, um aussagekräftige Forschungsergebnisse zu gewinnen.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit einem am IZVW (Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg) entwickelten Simulatortraining und dessen Evaluation in der Würzburger Fahrsimulation mit Bewegungssystem. Ziel des Trainings ist, Simulator Sickness zu vermeiden und den Fahrer mit der Fahrsimulation und den damit verbundenen Schwierigkeiten vertraut zu machen. Das Training besteht aus verschiedenen Übungseinheiten: Erste Eingewöhnungsphase, spezielle Fahrübungen zum Bremsen, Beschleunigen und Lenken, Übungsfahrt Autobahnfahren, Abbiegen an Kreuzungen und einer Fahrprobe am Ende des Trainings (Messfahrt).

Die im Beitrag vorgestellte Studie vergleicht die Leistung in der Fahrprobe von  $n=10$  Fahrern, die das vorgestellte Training absolviert haben (Trainingsgruppe), mit  $n=10$  Fahrern ohne Simulatortraining (Kontrollgruppe). Die Fahrer der Kontrollgruppe absolvieren die Messfahrt so oft, bis sie dieselbe Simulatorfahrzeit erreicht haben wie die Trainingsgruppe. Der Gruppe fehlt dann ein „sanftes“ Eingewöhnen und die speziellen Übungen. Es zeigt sich, dass sich ohne gezieltes Simulatortraining eine hohe Abbrecherquote aufgrund von Übelkeit ergibt, während im gezielten Training keine Ausfälle zu verbuchen sind. Auch für die subjektive und objektive Beherrschung des Simulatorfahrzeuges ist ein ausführliches Training unabdingbar.

## **Abstract**

In traffic-psychology a growing number of studies are carried out in driving simulators. The main advantages of driving simulation are that driving tasks can be standardised and data can be gained safely. However, due to the fact that a real environment can never be fully synthesised in a simulator, subjects have to deal with certain difficulties in the driving simulation. Thus, the driver has to compensate for the incomplete driving environment, delays and distortions in the graphics, and for having to act in two different worlds. Since this can't be realised immediately, the test subjects need a dry run to get used to the simulator and learn how the simulator works. A major problem within the dry runs is the so called "simulator sickness". Often test subjects have to stop and cancel the simulation because they get nauseous. The symptoms can vary from mild to severe and last a few minutes to several hours after the run. Another problem with respect to simulator sickness is that an inadequate driving behaviour might result, consciously or even unconsciously. In consequence, both the intern and the extern validity is limited and the acceptance of the method itself is likely to decrease. Experience shows that repeated exposure to the simulator situation usually reduces the physical discomfort. However, empirical studies concerning this adaption are very rare. Equally, details concerning dry runs are not consistently made in publications about driving simulation studies, and those that are made range from dry runs lasting five minutes to several hours. Commonly used guidelines do not exist. In summation, it is essential that subjects are allowed to habituate sufficiently to a simulator before the actual data is gathered. This is crucial to gain convincing research results.

This article deals with a simulator training that was designed at the Center for Traffic Sciences (IZVW) and aims at the avoidance of simulator sickness and the familiarisation of the subjects with the situation and the difficulties which are associated with driving simulation. Driving in the simulator is practiced to enable the subject to handle the simulator vehicle without any troubles. The training programme consists of several different units: at first there is a familiarisation phase, followed by special exercises on breaking, accelerating, steering, driving on a motorway, turning at intersections and a final driving test.

In this study we compared n=10 drivers who had taken part in the simulator training programme (training group) with a control group of n=10 drivers who had not. Instead, the control group performed the driving test repeatedly until they had spent the same time in the simulator as the training group. Thus, the control group did not get the slow accustoming and the special exercises of the training group. The results show that without the simulator training programme the average drop out rate due to nausea was quite high, whereas there was no drop out within the training group. Also, to be able to drive satisfactorily in a simulator an extensive training is necessary.

## **0. Überblick**

In diesem Artikel wird ein am IZVW entwickeltes Simulatortraining vorgestellt und dessen Evaluation in der Würzburger Fahrsimulation mit Bewegungssystem beschrieben.

Dabei wird zunächst auf die Ziele eines solchen Trainings in der Fahrsimulation eingegangen (Kapitel 1). Im Anschluss folgt eine kurze Erläuterung zum Phänomen der Simulatorkrankheit (Kapitel 2) und eine Beschreibung des Würzburger Fahrsimulators, an dem die Evaluationsstudie durchgeführt wurde (Kapitel 3). In Kapitel 4 wird das am IZVW entwickelte Trainingskonzept ausführlich erläutert. Kapitel 5 beschreibt die Vorgehensweise und Ergebnisse einer Evaluationsstudie, in der 10 Fahrer, die dieses Training absolvieren, mit dem Abschneiden einer Kontrollgruppe von ebenfalls 10 Fahrern verglichen werden.

## **1. Ziele des Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation**

Vor der Teilnahme an Untersuchungen in der Fahrsimulation ist es notwendig, die Testfahrer an die ungewohnte (Untersuchungs-)Situation und das Fahrzeugverhalten zu gewöhnen. Die Fahrer müssen die Unvollständigkeit der Fahrumgebung, Verzögerungen und Verzerrungen in der Darstellung sowie das Handeln in zwei parallelen Welten kompensieren [1]. Da dies in keiner Fahrsimulation auf Anhieb möglich ist, benötigen die Probanden eine Übungsphase, um sich an den Simulator zu gewöhnen und sich mit dem Fahrverhalten des Simulatorfahrzeugs vertraut zu machen [2]. Diese Eingewöhnung ist zentraler Bestandteil der Validität von Fahrsimulationen. Problematisch ist auch, dass die Simulatorkrankheit bewusst oder unbewusst dazu führen kann, dass der Fahrer in der Simulation unangemessenes Fahrverhalten zeigt. Dies führt zu weiteren Einschränkungen der Validität wie auch zu Verringerung der Akzeptanz der Methode beim Nutzer. Außerdem tragen Versuchsfahrten, die wegen Simulator Sickness abgebrochen werden müssen, nicht zu einem wirtschaftlich voll genutztem Simulator bei. Wie notwendig Maßnahmen gegen das Auftreten von Simulator Sickness sind, geht aus den Ergebnissen von Neukum et al. [3, 4] hervor, die aus der Evaluation einer Fahrsimulation zum Training polizeilicher Einsatzfahrten gewonnen wurden. Anfänglich traten dort Ausfallraten von bis zu 50% auf.

In der Literatur unterscheiden sich die Berichte über Eingewöhnungsphasen von 5 Minuten über mehrere Stunden [2]. Dorn und Barker (2005) berichten über eine 10-minütige Übungsfahrt, in der der Fahrer sich mit dem Simulator und vor allem mit Lenkung und Pedalerie vertraut machen soll [5]. Das Vorgehen bleibt dem Fahrer überlassen. Verwey und Zaidel (2000) erwähnen eine Übungsfahrt von einigen Minuten, bis der Fahrer ein subjektiv sicheres Gefühl des Fahrens in der Simulation erlangt [6]. Einheitliche Richtlinien oder Vorgehensweisen zur Gewöhnung an Fahrsimulationen existieren nicht. Da überprüfte Angaben zur notwendigen Dauer von Simulatortraining nicht existieren, wurde am Interdisziplinären Zentrum für Verkehrswissenschaften (IZVW) Würzburg über mehrere Jahre in einem Prozess ständiger Verbesserung ein eigenes Simulatortraining konzipiert.

Ziel dieses Trainings ist die Gewöhnung des Fahrers an die ungewohnte Situation sowie an das vom Realfahrzeug abweichende Fahrzeug- und Fahrgefühl. Nicht nur die Bedienelemente sind gewöhnungsbedürftig, sondern vor allem die Fahrdynamik. Die Fahrer merken schnell, dass sich Lenken, Bremsen und Beschleunigen in der Simulation anders anfühlt und einige Übung erforderlich ist, um das Fahren wie gewohnt zu beherrschen. Ein weiterer Grund für die Durchführung eines ausführlichen Trainings ist wie bereits erwähnt die Verringerung des Auftretens von Simulator Sickness. Das Trainingskonzept zielt demnach an erster Stelle auf den Abbau bzw. die Vermeidung von Simulator Sickness, weiterhin auf eine objektiv sichere Fahrzeugbeherrschung und schließlich auf ein subjektiv sicheres Fahrgefühl.

## **2. Das Phänomen Simulator Sickness**

Die Gründe für das Auftreten der Simulatorkrankheit sind nach wie vor nicht endgültig geklärt. Theorien gibt es mehrere, hier soll nur kurz auf zwei Erklärungsansätze eingegangen werden, die beide den Einfluss von visuellem und vestibulärem System berücksichtigen. Die sensorische Konflikttheorie (Sensory Conflict Theory) ist sicher am weitesten verbreitet und akzeptiert [7]. Sie postuliert einen internen Konflikt, der durch Nichtübereinstimmung von dem, was im Simulator passiert und dem, was das sensorische System aufgrund vorheriger Erfahrungen erwartet, hervorgerufen wird. Die Theorie klärt jedoch nicht, warum dieser sensorische Konflikt die zuvor beschriebenen Beschwerden hervorruft, oder warum die Beschwerden bei vielen Personen nach mehrfacher Simulatorexposition

nachlassen. Letztgenannten Punkt kann wiederum die Theorie der Haltungsinstabilität (Postural Instability Theory) durch den Erwerb von Kontrollstrategien erklären [8]. Die Autoren beschreiben aufrechte Haltung als ein Hauptverhaltensziel des Menschen. Sie führen die Simulatorkrankheit auf eine länger andauernde Instabilität bei der Haltungskontrolle zurück. Instabilität hervorrufende Situationen sind z.B. niederfrequentes Vibrieren, Schwerelosigkeit und eine veränderte Darstellung von Beschleunigung oder Rotation in Simulatoren.

Die Symptome der Simulatorkrankheit sind zwar vielfältig (Übelkeit, Benommenheit, allgemeines Unwohlsein, Kopfschmerzen, ein sich bemerkbar machender Magen, Desorientierung, Ermüdung, Schwitzen, Brechreiz, verschwommenes Sehen, Schwindelgefühle), jedoch weisen manche Personen nur wenige Symptome, andere wiederum zahlreiche Beschwerden auf. Auch Schweregrad und Zeitverlauf zeigen eine hohe interindividuelle Variabilität. Am weitesten verbreitet ist die Erfassung der Beschwerden mit dem Simulator Sickness Questionnaire [9]. Wie Grattenthaler (2005) und Neukum und Grattenthaler (2006) aufzeigen, ist dieser Fragebogen für die Fahrsimulation jedoch nur bedingt geeignet, da er anhand von Daten aus Flugsimulatoren entwickelt wurde [10, 11].

### **3. Der Würzburger Fahrsimulator**

In der hier beschriebenen Studie wurde der Würzburger Fahrsimulator mit Bewegungssystem (6 Freiheitsgrade) verwendet. Dieser kann lineare Beschleunigungen bis  $5 \text{ m/s}^2$  darstellen, rotatorische bis  $100^\circ/\text{s}^2$ . Die Fahrzeugkonsole ist voll instrumentiert und entspricht der des seriengefertigten Fahrzeugs (BMW 520i) mit Automatikgetriebe. Der Sichteindruck vom Fahrzeuginnenraum aus nach draußen ist originalgetreu erhalten. Für die realistische Darstellung des Lenkmoments sorgt ein auf der Basis eines Lenkmodells gesteuerter Servomotor. Die Projektion erfolgt über drei LCD-Projektoren (Auflösung:  $1400 \times 1050$ ), die in der Kuppel angebracht sind und über die ein Bildausschnitt von  $180^\circ$  horizontal und  $47^\circ$  vertikal dargeboten wird. Als Außen- und Innenspiegel fungieren LCD-Displays. Insgesamt besteht das System aus 14 PCs, die unter dem Microsoft Betriebssystem Windows 2000 bzw. Windows NT laufen. Der Datenaustausch zwischen den Rechnern erfolgt über ein 100 Mbit Ethernet.

Die am IZVW entwickelte Simulationssoftware SILAB ermöglicht dem Anwender eine freie Streckengestaltung (vgl. hierzu auch Kaußner et al., 2003), so dass für jede Anforderung, die im Training gelernt werden soll, auch entsprechende Szenarien zur Verfügung gestellt werden können [12]. Für den Würzburger Fahrsimulator wurde ein Verkehrskonzept gewählt, bei dem Fahrzeuge außer in Kolonnen auch einzeln frei steuerbar sind. Der Versuchsleiter kann angeben, an welchem Streckenmeter ein bestimmtes Fahrzeug welches Verhalten zeigen soll. So ist gewährleistet, dass – unabhängig vom Verhalten des Testfahrers – Situationen immer in definierten Verkehrsumgebungen stattfinden. Die Software wird ständig weiterentwickelt, um neue Anforderungen erfüllen und verschiedenste neue Komponenten ansteuern und integrieren zu können. Das System wird von einem Bedienplatz gesteuert, von dem aus der Fahrer über eine Videoanlage beobachtet werden kann und mit dem Versuchsleiter über eine Gegensprechanlage in Kontakt steht. Die Datenaufzeichnung kann durch den Versuchsleiter überwacht werden. Alle Parameter der Fahrzeugbewegung und -bedienung können aufgezeichnet werden. Im Datensatz enthalten sind neben Informationen über das Egofahrzeug auch solche über die gefahrene Strecke und den umgebenden Verkehr.

### **4. Beschreibung des Trainingskonzepts**

Das Training wurde anhand eines Expertenratings erstellt und im Laufe der letzten sechs Jahre immer wieder überarbeitet, zum einen, um die anhand von über 300 Testfahrern gewonnenen Trainingserfahrungen einzuarbeiten, zum anderen, um der Weiterentwicklung der SILAB-Software Rechnung zu tragen. Die Anforderungen, die in der Simulation an den Fahrer gestellt werden, stellen die Basis des Trainingskonzeptes dar. Anhand der Definition der Schwierigkeiten beim Fahren im Simulator ergeben sich spezielle Übungs- und Prüfinhalte. Zunächst muss dem Problem der Simulator Sickness begegnet werden. Das Konzept sieht vor, die Fahrer nach und nach an dynamischere Fahrmanöver heranzuführen, bis ein Gewöhnungseffekt erreicht wird und keine Simulatorkrankheit mehr auftritt. Eigene jahrelange Erfahrungen haben gezeigt, dass dabei eine allmähliche Erhöhung der Expositionsdauer von Vorteil ist [13].

Eine der wichtigsten Anforderung in der Simulation ist das Erlernen des Umgangs mit simulatorbedingten Verzögerungen der Bremse. Ziel ist dabei die sichere Beherrschung der auftretenden Verzögerungen bis hin zu punktgenauen Bremsvorgängen. Zusätzlich dazu treten in der Simulation Verzögerungen der Lenkung auf. An den Fahrer stellt sich daher die Anforderung einer möglichst genauen Spurhaltung. Erschwert wird diese Anforderung durch die schwierige Einschätzung der eigenen

Position in der Fahrspur. Das Einschätzen eigener sowie fremder Geschwindigkeiten sowie das Abschätzen von Abständen muss ebenfalls in der Simulation erlernt werden. Daher hat der Fahrer während der Trainingsfahrten diverse Geschwindigkeitsanpassungen vorzunehmen und ausreichende Abstände einzuhalten. Er soll erlernen, Zeitlücken zu erkennen und zu nutzen. Zudem werden die Fahrer darauf trainiert, die Vorschriften der StVO einzuhalten.

Die Fahrer benötigen für ein erfolgreiches und vollständiges Absolvieren des Trainings je nach Verträglichkeit 2-3 Trainingstermine. Abbildung 1 liefert einen Überblick über den Ablauf dieses speziellen Simulatortrainings.

## Ablauf Simulatortraining

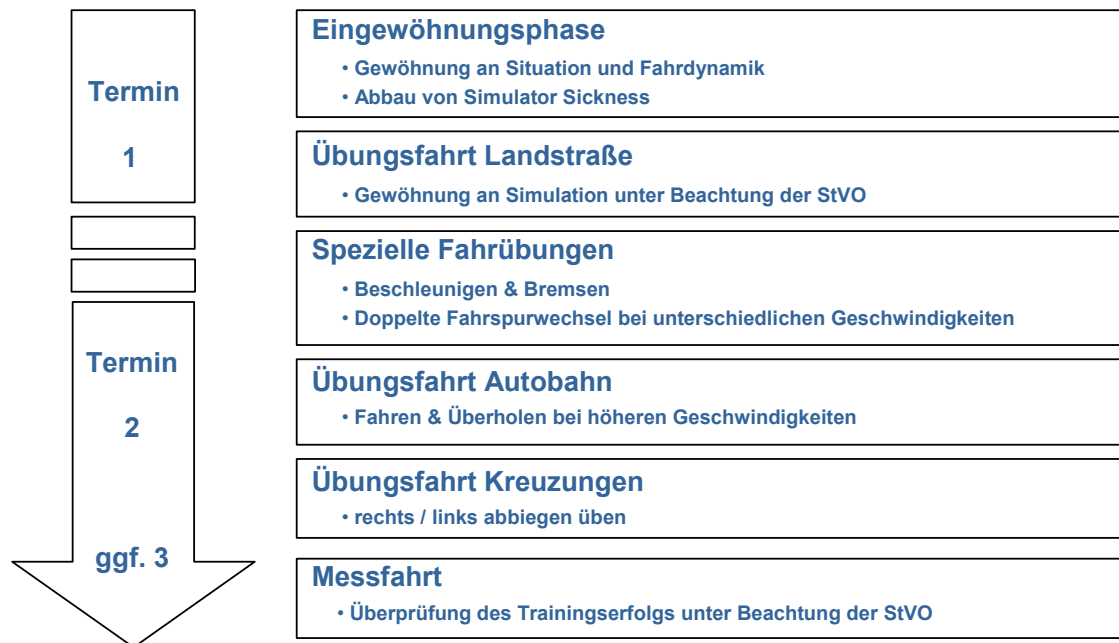


Abbildung 1: Ablauf des Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation.

### Eingewöhnungsphase:

Zunächst hat der Fahrer Gelegenheit, sich mit der ungewohnten Situation und Fahrdynamik vertraut zu machen, indem er für jeweils 5-10 Minuten zwei bis drei einfache Landstraßenstrecken mit vorwiegend Geraden und Kurven großer Radien fährt. Der Fahrer soll sich mit den Besonderheiten der Bremse, des Gaspedals und der Lenkung vertraut machen und unterschiedliche Geschwindigkeiten „erfahren“.

### Übungsfahrt Landstraße:

Es folgt ein knapp 20-minütiger Landstraßenabschnitt mit verschiedenen Anforderungen unter Beachtung der StVO (z.B. Überholen eines langsamen Fahrzeugs; Ortsdurchfahrt mit Reduktion der Geschwindigkeit auf 50 km/h; Folgefahren). In dieser Fahrt müssen Geschwindigkeiten anderer Fahrzeuge eingeschätzt und sinnvolle Zeitlücken gewählt werden.

### Spezielle Fahrübungen:

Im Anschluss an die Übungsfahrt Landstraße werden durch spezielle Übungen die Schwierigkeiten der Fahrsimulation beim *Beschleunigen*, *Bremsen* und *Lenken* trainiert.

Ziel der Übung *Bremsen und Beschleunigen* (2 x ca. 10 Minuten) ist es, Abstände einzuschätzen sowie punktgenau anzuhalten. Der Fahrer hat innerhalb eines vorgegebenen Streckenabschnitts auf eine vorgegebene Geschwindigkeit (100 km/h bzw. 120 km/h) zu beschleunigen. Die erreichte Geschwindigkeit soll innerhalb eines vorgegebenen Streckenabschnitts beibehalten werden. Ab einer vorgegebenen Markierung hat der Fahrer die Geschwindigkeit zu reduzieren, um an einem 100 m entfernten Stoppschild punktgenau anzuhalten.

Die Anforderung *Lenken* wird durch das Fahren doppelter Fahrspurwechsel – provoziert durch Pylonen – eingeübt (2 x ca. 10 Minuten). Dabei werden durch Verkehrsschilder unterschiedliche

Geschwindigkeiten vorgegeben, so dass der Fahrer zunächst vier doppelte Fahrspurwechsel mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h einübt und darauf folgend je vier mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h.

#### Übungsfahrt Autobahn:

Durch eine etwa 10-minütige Autobahnfahrt mit kurzzeitiger Spurverengung aufgrund einer Baustelle erfährt der Fahrer die Fahrdynamik des Simulators bei höheren Geschwindigkeiten. Das Verkehrsaufkommen variiert in der Fahrt von zunächst stark über gering bis abschließend stark, so dass der Fahrer unterschiedliche Geschwindigkeiten und mehrere Überholvorgänge zu fahren hat.

#### Übungsfahrt Kreuzungen:

Da in der Simulation Abbiegevorgänge schwieriger zu fahren sind als in der Realität, wird sowohl das Rechts- als auch das Linksabbiegen innerhalb einer 10-minütigen Strecke gesondert geübt. Der Fahrer hat an zehn Kreuzungen gemäß Navigationspfeil insgesamt vier Mal rechts und vier Mal links abzubiegen. Einige Kreuzungen sind über Ampeln, andere über Verkehrszeichen geregelt.

#### Messfahrt:

Zur Überprüfung des Trainingserfolgs wird abschließend eine Strecke mit unterschiedlichsten Prüf-szenarien auf Landstraße und in Ortschaften vorgegeben, die der Testfahrer nach StVO zu durch-fahren hat. Sie beinhaltet die zuvor einzeln geübten Anforderungen in straßenverkehrsrelevanten Sze-narien: Reaktion auf ein ausparkendes Fahrzeug; Abbiegen links innerorts an einer rechts-vor-links geregelten Kreuzung; Baustelle mit Spurverengung; Überholt werden; Überholen eines langsamen Fahrzeugs; Durchfahren einer scharfen Linkskurve; Umfahren eines Pannenfahrzeugs; Abbiegen an einer T-Kreuzung; Freie Fahrt; Durchfahren mehrerer enger Kurven (Slalom); Anhalten an einer X-Kreuzung mit Stoppschild; Folgefahren (Überholverbot, Vorfahrer schwankt zwischen 80 und 100 km/h); eine enge, z.T. schlecht einsehbare und sehr kurvenreiche Landstraße durch einen Wald. Die Gesamtlänge der Strecke beträgt ca. 20 km und kann in einer Gesamtzeit von ca. 15 Minuten durchfahren werden.

## 5. Beschreibung Evaluationsstudie

Die Evaluationsstudie zum Trainingskonzept soll Aufschluss über die folgenden Fragen geben:

- Ist die Durchführung eines Simulatortrainings vor der Erhebung von Forschungsergebnissen mittels Simulation notwendig?
- Ist ein gezieltes Training mit Einübung der genannten Anforderungen erforderlich?

Die Testfahrer werden den beiden Gruppen „Trainingsgruppe“ und „Kontrollgruppe“ randomisiert zuge-wiesen. Die Fahrer der Trainingsgruppe absolvieren das in Kapitel 4 beschriebene Simulatortraining mit abschließender Messfahrt. Die Fahrer der Kontrollgruppe beginnen mit der Messfahrt ohne vorheriges Simulatortraining. Um eine vergleichbare Nettofahrzeit zur Trainingsgruppe zu erreichen, wird die Messfahrt insgesamt bis zu sechs Mal durchfahren. In Abbildung 2 ist der Versuchsablauf der beiden Gruppen schematisch dargestellt.

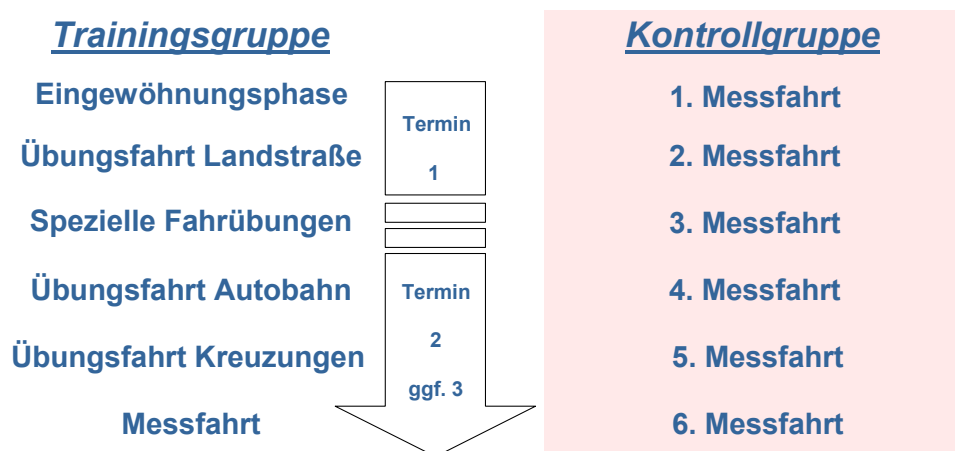


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus (reine Gesamtfahrzeit jeweils 90 min).

## 5.1 Datenquellen

### Daten zur Erfassung der Simulatorkrankheit:

Jedem Testfahrer wird zu Beginn jeden Trainingstermins ein Fragebogen zu körperlichen Beschwerden vorgelegt. Der Bogen umfasst 36 Items, abgeleitet aus der Freiburger Beschwerde Liste [14] und dem Simulator Sickness Questionnaire von Kennedy [9] sowie häufig berichteten Symptomen. Der Fahrer hat auf einer sechsstufigen Skala sein aktuelles Befinden anzugeben bezüglich der einzelnen Symptome, wie z.B. „Fühlen Sie sich unwohl, sind Ihre Augen überanstrengt etc.. Der Fragebogen wird dem Testfahrer auch nach jeder einzelnen Fahrt im Simulator vorgelegt, so dass Veränderungen aufgrund der Fahrten und über die Zeit betrachtet werden können. Zusätzlich wird nach einer jeden Fahrt die Frage gestellt, ob dem Testfahrer schlecht geworden sei (ja/nein) und wie gerne er, ausgehend von seinem aktuellen Befinden, noch einmal im Simulator fahren möchte (sechsstufig: gar nicht, sehr ungern, ungern, mittel, gerne, sehr gerne).

### Fahrerurteile zur Messfahrt:

Im Anschluss an jede Messfahrt hatten die Fahrer auf der so genannten Kategorienunterteilungs-Skala, vgl. Tabelle 1) verschiedene fahrtbezogene Fragen zu beantworten (Fahrgüte, Schwierigkeit, Spaß, Fahrzeugbeherrschung u.ä.). Bei der KU-Skala handelt sich um eine Skala mit sechs verbalen Kategorien, die mit Ausnahmen der Nullkategorie jeweils numerisch in drei Stufen unterteilt sind.

Tabelle 1: Kategorienunterteilungs-Skala (KU).

gar nicht	sehr wenig			wenig			mittel			viel			sehr viel		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

### Fahrfehler in der Messfahrt:

Während jeder Messfahrt wurde von zwei geschulten Versuchsleitern ein Beobachtungs- bzw. Fehlerprotokoll erstellt. Die Fahrverhaltensbeobachtung erfolgt in Anlehnung an Brenner-Hartmann, 2002<sup>1</sup>.

### Fahrdaten aus der Simulation:

In den aufgezeichneten Fahrdaten (insgesamt 86 Variablen mit 100 Hz) sind alle Parameter der Bedienung des Fahrzeugs (z.B. Gas geben, Blinker setzen), Parameter des Fahrzeugmodells (Geschwindigkeit, Beschleunigung) sowie Eigenschaften der Strecke (z.B. Streckenmeter, Kurvenkrümmung) abgreifbar. Darüber hinaus wird der umgebende Verkehr (Abstände, Geschwindigkeiten usw.) aufgezeichnet.

## 5.2 Stichprobe

Für die Trainingsevaluation wurden so lange Testfahrer angeworben, bis in der Trainingsgruppe je 5 Männer und Frauen das komplette Training und in der Kontrollgruppe je 5 Männer und Frauen zumindest eine Messfahrt vollständig absolviert hatten.

Um die Validität der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten, galten für alle Testfahrer die Kriterien „Mindestalter  $\geq 23$  Jahre“ sowie „Fahrerfahrung des vergangenen Jahres  $\geq 6\,000$  km“. Letztendlich nahmen an dieser Studie insgesamt 23 Testfahrer im Alter von 25 bis 41 Jahren ( $m = 32.75$ ;  $sd = 6.02$ ) teil, 11 Männer und 12 Frauen. Die Testfahrer besaßen zum Erhebungszeitpunkt eine Fahrerfahrung zwischen 5 und 23 Jahren ( $m = 14.17$ ;  $sd = 6.06$ ) und sind in den vorausgehenden 12 Monaten durchschnittlich 15239 Kilometer gefahren ( $sd = 9416$ ). Sie teilen sich wie in

**Tabelle 2** dargestellt auf die Untersuchungsgruppen auf.

<sup>1</sup> Brenner-Hartmann (2002) beschreibt die Durchführung standardisierter Fahrverhaltensbeobachtungen im Rahmen der Medizinisch-Psychologischen Untersuchung, die auf der Methode der Fehlerbeobachtung beruht. Die dort verwendete Klassifikation von Fahrfehlern wurde entwickelt, indem die Beobachtungsvariablen der gesichteten Literatur zusammengefasst und neu gruppiert wurden [15].

Tabelle 2: Aufteilung der 23 Fahrer auf die Gruppen.

	Trainingsgruppe		Kontrollgruppe (6 gleiche Fahrten)			N gesamt
	vollständig absolviert	Abbrecher	vollständig absolviert	mind. 1 Fahrt vollständig absolviert	Abbrecher	
Männer	5	-	5	-	1	11
Frauen	5	-	3	2	2	12
N gesamt	10	-	8	2	3	23

### 5.3 Ergebnisse

Bevor die Ergebnisse zur Simulator Sickness und daran anschließend die subjektiven Urteile der Fahrer, die Fehleranzahl und die Fahrdaten dargestellt werden, wird zunächst geprüft, ob sich die Fahrergruppen bezüglich der Verträglichkeit von Bewegungssituationen grundsätzlich unterscheiden.

#### Bewegungsdisposition:

Jeder Proband beantwortete vor der 1. Fahrt in der Simulation acht Fragen bezüglich der Verträglichkeit von Situationen, in denen er in der Vergangenheit passiver Bewegung ausgesetzt war (z.B. Achterbahnfahren, Schiffsreisen, im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung reisen, Lesen während der Mitfahrt im Pkw usw.). Diese Erfassung der Bewegungsdisposition erfolgte, um sicherzustellen, dass keine extremen Gruppenunterschiede vorliegen, da eine allgemeine Unverträglichkeit in Bewegungssituationen zumindest zu einem gewissen Teil in einem Zusammenhang mit Simulatorkrankheit stehen könnte [10]. Aus Abbildung 3 wird ersichtlich, dass alle Gruppen im Mittel wenig empfindlich auf passive Bewegung reagieren. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

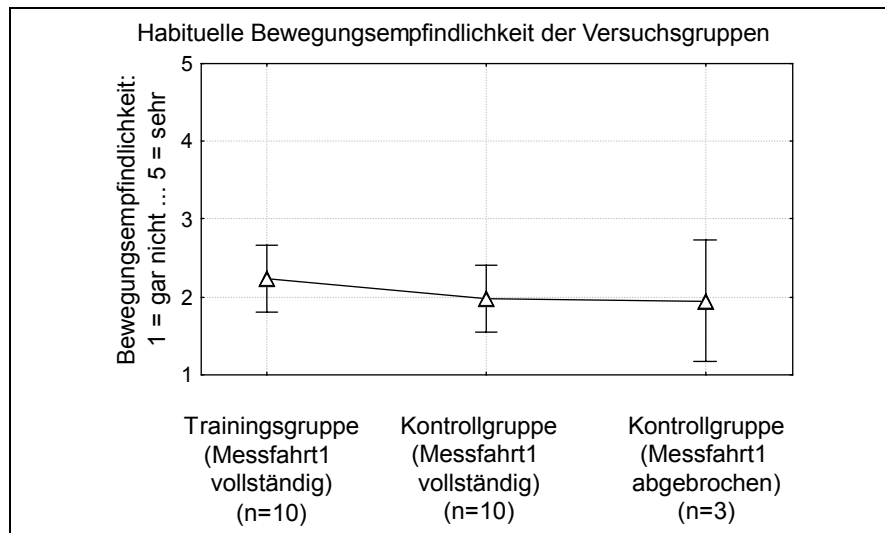


Abbildung 3: Befragung zur Bewegungsempfindlichkeit: Ein Wert von 1 bedeutet, dass ein Fahrer alle Situationen sehr gut verträgt. Vertikale Balken bedeuten 0.95 Konfidenzintervalle.

#### Simulatorkrankheit:

Alle 10 Fahrer der Trainingsgruppe absolvierten das Training vollständig und erfolgreich. Um 10 vollständig durchgeführte Messfahrten1 in der Kontrollgruppe zu erhalten, waren 13 Fahrer nötig, von



diesen hielten jedoch nur 8 Fahrer bis zur 6. Messfahrt durch, d.h. nur 8 von 13 Fahrern der Kontrollgruppe erreichte die gleiche Fahrzeit wie die 10 Fahrer der Trainingsgruppe. 3 Fahrer möchten gar nicht mehr im Simulator fahren, 2 Fahrer absolvierten nach ihrem Abbruch das Programm der Trainingsgruppe an zwei anderen Terminen erfolgreich.

Die Erfolgsrate in der Trainingsgruppe beträgt für die hier geprüfte Stichprobe also 100%, in der Kontrollgruppe (bei N=13) bezogen auf die gleiche Nettofahrzeit bzw. auf das Ziel, die Gruppe durch wiederholtes Fahren einer Strecke mit den zu lernenden Anforderungen zu trainieren, 61%.

Die Frage „Wie gerne möchten Sie jetzt noch mal im Simulator fahren?“ beantworteten die Fahrer der Trainingsgruppe mit „mittel“ bis „sehr gerne“, die der Kontrollgruppe mit „sehr ungerne“ bis „sehr gerne“. Die 3 Fahrer, die die Messfahrt1 nicht komplett durchfahren haben, möchten „gar nicht“ bis „ungerne“ noch einmal im Simulator fahren (vgl. Abbildung 4). Sie alle haben die Fahrt im mittleren Drittel, d.h. nach 5 – 10 Minuten abgebrochen.

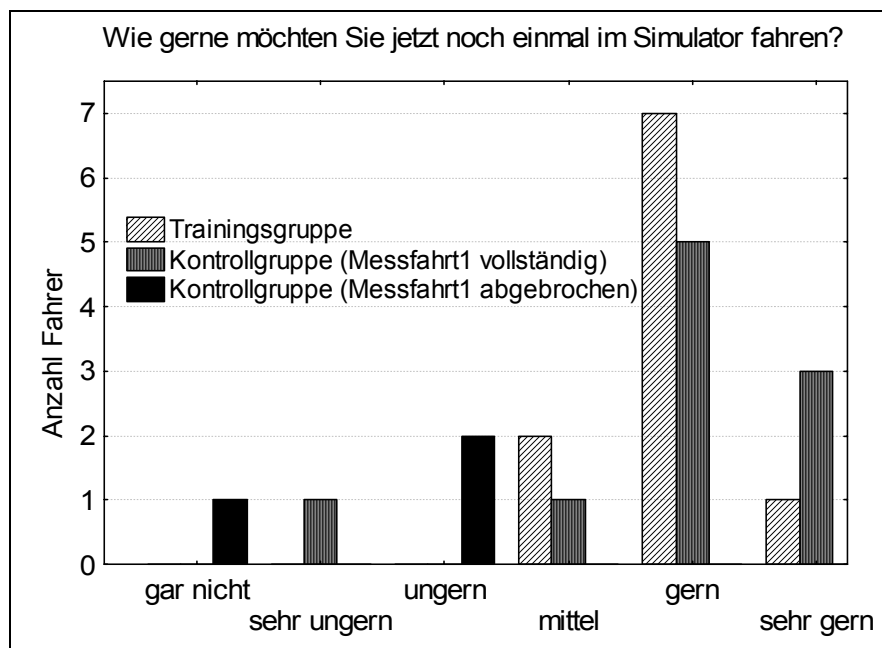


Abbildung 4: Befragung unmittelbar nach Messfahrt1.

Die Frage „Ist Ihnen schlecht geworden?“ beantworteten 100% Fahrer der Trainingsgruppe mit nein, 50% der Fahrer der Kontrollgruppe mit ja und 100% der „Abbrecher“ ebenfalls mit ja (ohne Abbildung).

#### Fahrerurteile zur Messfahrt:

Die Befragung der Fahrer nach Messfahrt1 ergab, dass alle Gruppen die Fahraufgabe als mittel schwierig einstufen (ohne Abbildung).

Die Selbsteinschätzung, wie gut das Simulatorfahrzeug beherrscht wird, fällt für die drei Gruppen sehr unterschiedlich aus: Im Mittel „gut“ für die Trainingsgruppe, „schlecht“ für die 10 Fahrer der Kontrollgruppe, die die Fahrt vollständig absolviert haben, und „sehr schlecht“ für die 3 Fahrer, die die Fahrt aufgrund von Simulator Sickness abgebrochen haben (Abbildung 5). Die Fahrer der Kontrollgruppe benötigen 4-5 Messfahrten, um in der Selbsteinschätzung das gleiche Niveau wie die Trainingsgruppe zu erreichen (ohne Abbildung).

Aus Abbildung 6 ist ersichtlich, dass die Fahrer der Trainingsgruppe ihre eigene Fahrleistung knapp mit „gut“ bewerten, alle Fahrer der Kontrollgruppe – unabhängig davon, ob die Fahrt abgebrochen wurde – mit „wenig gut“. Nach der 2. Messfahrt fährt die Kontrollgruppe laut Selbsteinschätzung jedoch schon so gut wie die Trainingsgruppe (ohne Abbildung).

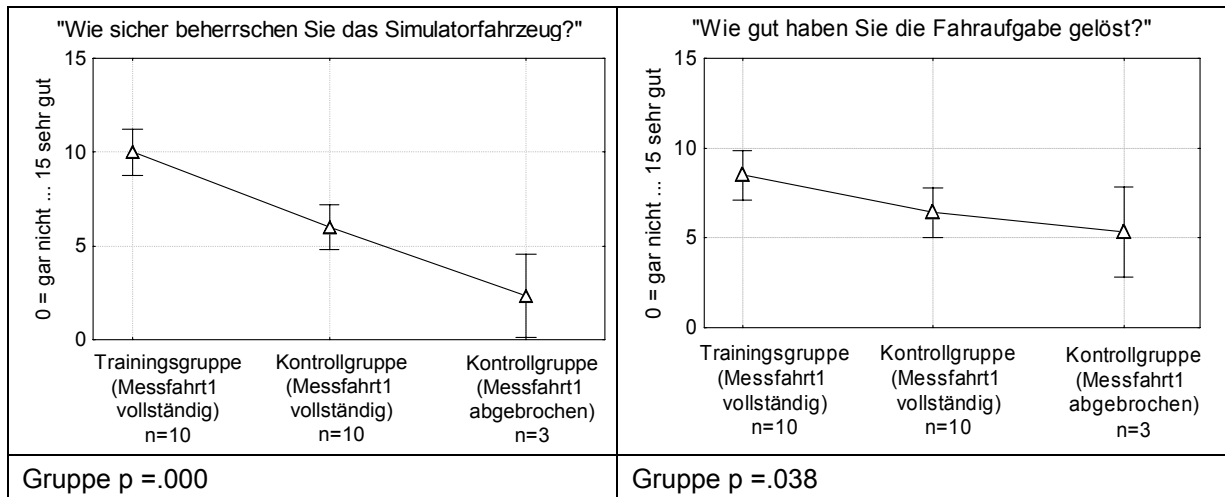


Abbildung 5: Befragung nach Messfahrt1

Abbildung 6: Befragung nach Messfahrt1

Während die Trainingsgruppe die Messfahrt als „sehr hilfreich“ für die Simulatorbeherrschung erlebt hat, betrachtet die Kontrollgruppe diese 1. Fahrt als „hilfreich“ und Fahrer, die die Fahrt abgebrochen haben, als „wenig hilfreich“ (s. Abbildung 7). Den Fahrern der Trainings- und der Kontrollgruppe hat die Messfahrt Spaß gemacht, die Fahrer der Kontrollbedingung, die die Fahrt abgebrochen haben, geben an, dass ihnen die Fahrt wenig bis sehr wenig Spaß machte (Abbildung 8).

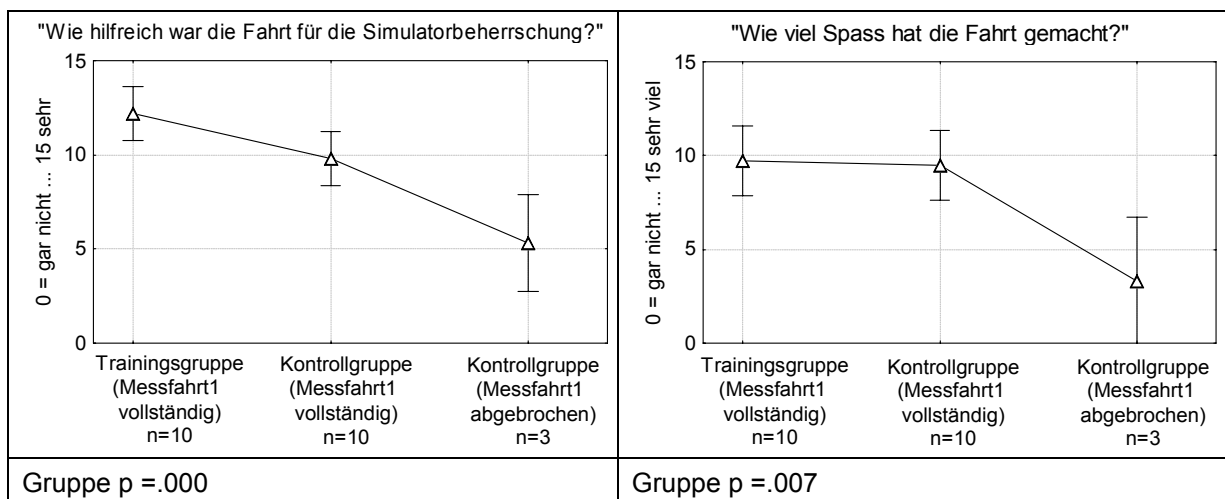


Abbildung 7: Befragung nach Messfahrt1

Abbildung 8: Befragung nach Messfahrt1

Fahrfehler in der Messfahrt1:

In den folgenden Auswertungen werden die drei Fahrer der Kontrollgruppe, die die 1. Messfahrt nicht vollständig absolviert haben, nicht mehr berücksichtigt, da sich die Auswertungen entweder auf die Gesamtfahrt oder auf Situationen aus dem letzten Drittel der Messfahrt beziehen, die von diesen drei Fahrern nicht absolviert wurden.

Die Fahrer der Kontrollgruppe machen während der 1. Messfahrt signifikant mehr Fahrfehler als die Fahrer der Trainingsgruppe (vgl. Abbildung 9): Der Kontrollgruppe unterlaufen im Mittel 29.6 Fahrfehler, der Trainingsgruppe hingegen nur 20.1 ( $p < 1\%$ ). Um auf die Fehlerzahl der Trainingsgruppe zu kommen, müssen die Fahrer der Kontrollgruppe die gleiche Strecke viermal durchfahren.

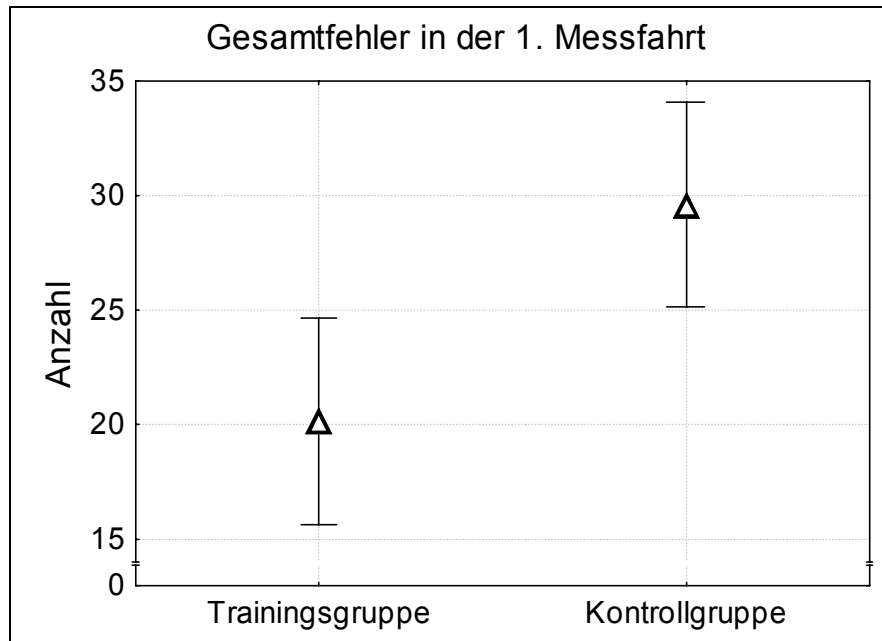


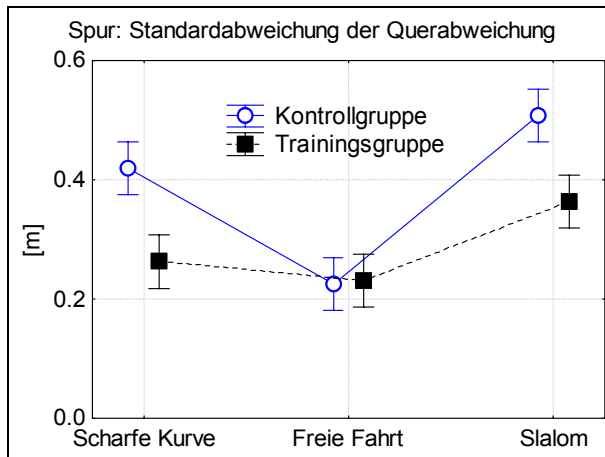
Abbildung 9: Anzahl der durch zwei geschulte Beobachter festgestellten Gesamtfehler in Messfahrt1.

#### Fahrdaten aus der Simulation:

Im Folgenden werden die Unterschiede in der Fahrerleistung zwischen Trainings- und Kontrollgruppe in Messfahrt1 exemplarisch an drei verschiedenen Szenarien aufgezeigt. Für alle drei Situationen gilt: keine vorausfahrenden Fahrzeuge, kein Höhenprofil, erlaubte Höchstgeschwindigkeit = 100km/h, gleiche Spurbreite (3.50m). Die „Freie Fahrt“ ist ein sehr einfacher, 2.7km langer Landstraßenabschnitt mit sanften Kurven (Krümmung 1/800m). Die „scharfe Kurve“ ist mit einer Krümmung von 1/150m auf einem 1.1km langen Streckenabschnitt deutlich schwerer zu durchfahren als die „Freie Fahrt“. Beim Szenario „Slalom“ handelt es sich um 3 je 100m lange scharfe Links- und Rechtskurven im Wechsel (Krümmung 1/150m). Die Anforderungen, die an den Fahrer gestellt werden, liegen in der Geschwindigkeitsanpassung in Abhängigkeit der Kurvigkeit, des weiteren in einer genauen Spurhaltung, da Gegenverkehr Kurvenschneiden kaum zulässt bzw. leicht zu einer Gefährdung führt. Die Situationen liegen im letzten Drittel der Messfahrt, d.h. auch die Kontrollgruppe ist zu diesem Zeitpunkt bereits knapp 10 Minuten im Simulator gefahren.

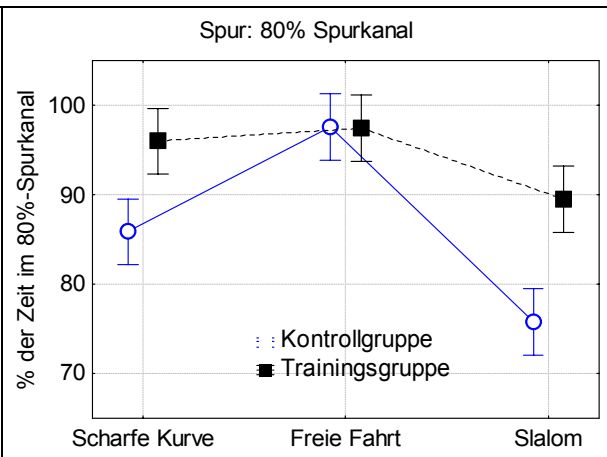
Für die Querregelung ergibt sich folgendes Bild: In dem einfachen Streckenabschnitt „freie Fahrt“ unterscheiden sich die beiden Fahrergruppen nicht, in den Situationen „scharfe Kurve“ und „Slalom“ zeigen die Fahrer der Kontrollgruppe jedoch eine signifikant höhere Standardabweichung der Querabweichung und verlassen den 80%-Spurkanal signifikant länger als die Trainingsgruppe (Abbildung 10 und Abbildung 11).

Betrachtet man die Längsregelung, so wird deutlich, dass die Trainingsgruppe im Mittel tendenziell etwas langsamer gefahren ist (Abbildung 12) und deutlich geringere minimale Geschwindigkeiten aufweist (Abbildung 13).



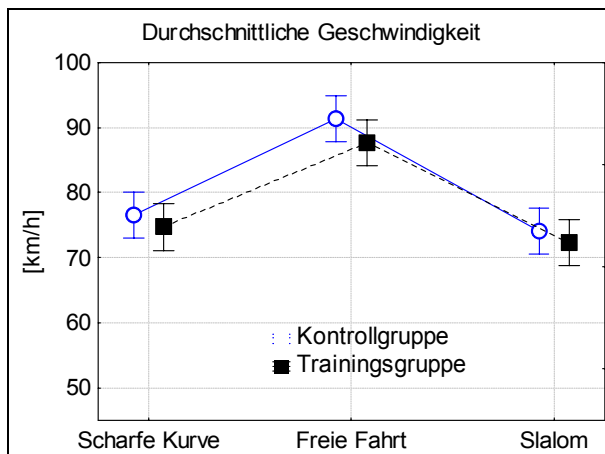
Gruppe p = .000, Sit p = .000, Gruppe\*Sit p = .000

Abbildung 10: Querregelung in Messfahrt1



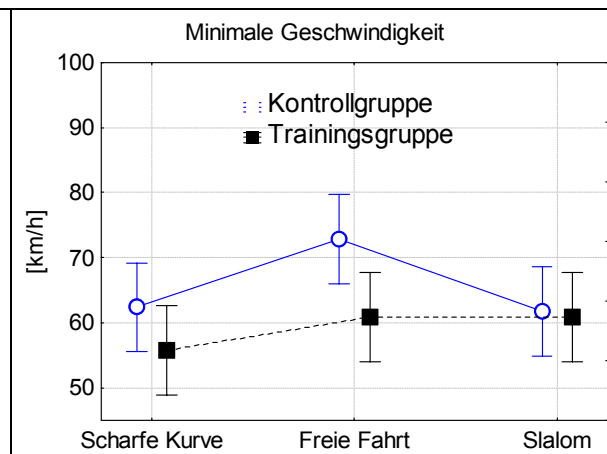
Gruppe p = .000, Sit p = .000, Gruppe\*Sit p = .000

Abbildung 11: Querregelung in Messfahrt1



Gruppe p = .090, Sit p = .000, Gruppe\*Sit p = .826

Abbildung 12: Längsregelung in Messfahrt1



Gruppe p = .024, Sit p = .073, Gruppe\*Sit p = .270

Abbildung 13: Längsregelung in Messfahrt1

## 5.4 Diskussion

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Evaluationsstudie zur Gewöhnung an die Fahrsimulation weisen eindeutig auf die Notwendigkeit eines ausführlichen Trainings mit „sanftem“ Beginn (einfache und kurze Strecken) hin, um Simulator Sickness möglichst zu vermeiden. Es soll nicht verschwiegen werden, dass – selbst wenn hier eine Erfolgsquote von 100% erzielt wurde – auch mit einem solchen Trainingsprogramm Simulator Sickness nicht bei allen Personen völlig vermieden werden kann. Jedoch lassen damit sich Ausfälle deutlich geringer halten, als wenn man komplett auf eine Gewöhnungsphase verzichtet oder diese zu kurz bzw. unpassend gestaltet ist.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass es für die Simulatorbeherrschung unabdingbar ist, einzelne Anforderungen ausführlich zu üben. Zum Beispiel dürften die niedrigeren mittleren und minimalen Geschwindigkeiten der Trainingsgruppe in verschiedenen Situationen darauf zurück zu führen sein, dass in der Trainingsgruppe das Einschätzen von Situationen und die damit verbundene Geschwindigkeitsanpassung bereits ausgiebig geübt wurde und schneller vorgenommen werden kann, was sich in einer wesentlich besseren Spurhaltung auch in kurvigen Abschnitten wieder spiegelt. Verschiedene Datenquellen weisen zudem darauf hin, dass die Kontrollgruppe 4-5 Messfahrten (dies entspricht einer reinen Fahrzeit von 60 bis 75 Minuten) benötigt, um auf das Niveau der Trainingsgruppe zu kommen und um den Fahrern selber das Gefühl zu geben, dass sie das Simulatorfahrzeug handeln können.

## 6. Literatur

- [1] Bülthoff, H.H., & Veen, H.A.H. van, (2000). Vision and Action in Virtual Enviroments: Modern Psychophysics in Spatial Cognition Research. In M. von der Heyde & H. H. Bülthoff (Eds.), Perception and Action in Virtual Enviroments. Tübingen: Max-Planck-Institute for Biological Cybernetics.
- [2] McGehee, D.V., Lee, J.D., Rizzo, M., Dawson, J. & Bateman, K. (2004). Quantitative analysis of steering adaptation on a high performance fixed-base driving simulator. Transportation Research Part F, 7, 181–196.
- [3] Neukum, A. & Krüger, H.-P. (2003 a). Ein Trainingskonzept zur Schulung von Einsatzfahrten. In: C. Lorei (Hrsg.) Polizei & Psychologie, Kongressband der Tagung „Polizei & Psychologie“ am 18. und 19. März 2003 in Frankfurt am Main, S. 515-533. Frankfurt: Verlag für Polizeiwissenschaft.
- [4] Neukum, A., Lang, B. & Krüger, H.-P. (2003 b). A Simulator-Based Training for Emergency Vehicle Driving. Proceedings of the Driving Simulation Conference (DSC) 2003. Detroit, Michigan.
- [5] Dorn, L. & Barker, D. (2005). The effects of driver training on simulated driving performance. Accident Analysis & Prevention, 37, 63-69.
- [6] Verwey, W.B. & Zaidel, D.M. (2000). Predicting drowsiness accidents from personal attributes, eye blinks and ongoing driving behaviour. Personality and individual differences, 28, 123-142.
- [7] Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). Motion sickness. London: Academic Press.
- [8] Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological theory of motion sickness und postural instability. Ecological Psychology, 3(3), 195-240.
- [9] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1993). Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. The International Journal of Aviation Psychology, 3, 203-220.
- [10] Grattenthaler, H. (2005). Die Simulator Sickness in der Fahrsimulation – Inzidenz, Symptomstruktur und Nachwirkungen. (Unveröffentlichte Diplomarbeit). Universität Würzburg (Institut für Psychologie, Lehrstuhl III).
- [11] Neukum, A. & Grattenthaler, H. (2006). Zur Brauchbarkeit des SSQ in der Fahrsimulation. (In Vorbereitung).
- [12] Kaufner, A., Mark, C., Grein, M., Krüger, H.-P. & Noltemeier, H. (2003). Fahrsimulator-Datenbasen mit dynamisch veränderbaren Straßennetzwerken. In VDI-Berichte Nr. 1745, Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [13] Hoffmann, S., Krüger, H.-P. & Buld, S. (2003). Vermeidung von Simulator Sickness anhand eines Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation. In VDI-Berichte Nr. 1745, Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [14] Fahrenberg, J. (1975). Freiburger Beschwerdenliste. Zeitschrift für Klinische Psychologie. Forschung und Praxis, 79-100.
- [15] Brenner-Hartmann, J. (2002). Durchführung standardisierter Fahrverhaltensbeobachtungen im Rahmen der medizinisch-psychologischen Untersuchung (MPU). Vortrag beim 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie. Regensburg.