

Aus:

VDI-Berichte Nr. 1745 (2003). Simulation und Simulatoren - Mobilität virtuell gestalten. Düsseldorf: VDI-Verlag
Original kann beim Verlag bestellt werden.

Vermeidung von Simulator Sickness anhand
eines Trainings zur Gewöhnung an die Fahrsimulation

Avoidance of Simulator Sickness by Training the Adaptation
to the Driving Simulation

Dipl.-Psych. Sonja Hoffmann¹
Prof. Dr. Hans-Peter Krüger¹
Dipl.-Psych. Dr. Susanne Buld¹

¹Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften
an der Universität Würzburg
Röntgenring 11
97070 Würzburg

1 ZUSAMMENFASSUNG

2 SUMMARY

3 SIMULATOR SICKNESS IN DER LITERATUR

3.1 Definitionen, Ursachen, Symptome

3.1.1 Ätiologische Theorien

3.1.2 Symptomatik von Simulator Sickness

3.1.3 Abgrenzung von Simulator Sickness zu Motion Sickness

3.2 Reduktion von Simulator Sickness durch Adaptation

4 TRAININGSPROGRAMM AM WÜRZBURGER FAHRSIMULATOR

4.1 Der Würzburger Fahrsimulator

4.2 Das Simulatortrainingskonzept

4.2.1 Lernziele

4.2.2 Ablauf des Trainings

4.3 Beschreibung der Testfahrer und der Fragebögen

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Simulator Sickness: Überblick

4.4.2 Simulator Sickness in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

4.4.3 Simulator Sickness in Abhängigkeit von Persönlichkeitsvariablen

4.4.4 Simulator Sickness in Abhängigkeit vom Fahrerzustand vor Trainingsbeginn

4.4.5 Diskussion

5 LITERATURVERZEICHNIS

1 ZUSAMMENFASSUNG

An einer Stichprobe von $N = 108$ Fahrern wird im Würzburger Fahrsimulator untersucht, inwieweit durch ein gezieltes Fahrtraining Simulator-Sickness beseitigt bzw. von vorneherein vermieden werden kann. Durch ein Expertenrating werden zunächst verschiedene für Übelkeit kritische Fahrmanöver ausgewählt, die zumindest nach erfolgtem Training keine Übelkeit (mehr) auslösen sollten. Diese Manöver werden in ein ausführliches Trainingskonzept eingepasst, das alle Probanden durchlaufen. Das Konzept sieht vor, die Probanden langsam an immer kritischere Fahrmanöver hinzuführen bis ein Gewöhnungseffekt erreicht wird und keine Übelkeit mehr auftritt. Auch die Fahrdauer im Simulator wird nach und nach erhöht. Die Ergebnisse werden in Bezug auf Personenmerkmale wie Alter und Geschlecht sowie allgemeine Beschwerdebhäufigkeit und Fahrerzustand analysiert und mit Ergebnissen zur Beseitigung von Simulator-Sickness in der Literatur verglichen. Für nahezu alle Probanden der Untersuchung im Würzburger Simulator gilt, dass sie nach Absolvieren des Simulatortrainings beschwerdefrei sind und dies an nachfolgenden Terminen auch bleiben. Das Trainingskonzept mit kritischen Fahrmanövern kann somit als sehr erfolgreich beschrieben werden.

2 SUMMARY

In the Wuerzburg driving simulator we investigated whether it is possible or not to eliminate or even prevent simulator sickness by administering a specific driving training. At first, several driving manoeuvres critical for nausea were chosen by an expert rating. At least after the driving training these situations (e.g. hard braking) should not elicit simulator sickness (any more). In our study the manoeuvres were embedded in an extensive training concept that all test drivers (N = 108) had to attend. The aim of the concept is to lead the drivers slowly from easy to more and more critical driving manoeuvres until adaptation is attained and sickness symptoms do not occur any more. In addition, the length of simulator exposure was increased gradually. The training results were analysed with reference to age, gender, general symptom frequency and condition of the driver and compared to previous findings from literature about the elimination of simulator sickness. Nearly all test drivers who participated in our study showed no symptoms after the simulator training and also stayed symptom free in subsequent trials. Hence, the training concept with critical manoeuvres was demonstrated to be very successful.

3 SIMULATOR SICKNESS IN DER LITERATUR

3.1 Definitionen, Ursachen, Symptome

Simulator Sickness ist eine Variante von Motion Sickness, die von Teilnehmern an Flugsimulationen, Fahrsimulationen und virtuellen Umwelten erlebt wird. Erstmals festgestellt wurde das Phänomen der Simulatorübelkeit in einem Helikopter Trainer [1]. Im Folgenden werden zunächst Theorien zur Entstehung von Simulator Sickness dargestellt, anschließend wird die Symptomatik skizziert und eine Abgrenzung zu Motion Sickness vorgenommen.

3.1.1 Ätiologische Theorien

Zur Zeit gibt es kein Modell, das die Entstehung von Simulator Sickness vollständig beschreibt. Folgende Theorien, auf die hier nur kurz eingegangen werden soll, werden diskutiert:

- die sensorische Konflikttheorie [2]
- die Gifftheorie [3]
- die Theorie zur Haltungsinstabilität [4]

Die sensorische Konflikttheorie

Die sensorische Konflikttheorie ist wohl die am weitesten verbreitete und anerkannteste Theorie mit größtem Erklärungswert, zunächst entwickelt für Motion Sickness, später auf Simulator Sickness ausgedehnt. Ihre Grundannahme besteht darin, dass die menschliche Orientierung im dreidimensionalen Raum aufgrund von vier sensorischen Inputs an das ZNS erfolgt:

- Maculaorgane (Informationen über lineare Beschleunigungen)
- Bogengänge (Informationen über Rotationsbeschleunigungen)
- visuelles System (Informationen über Körperorientierung in Bezug auf die bildliche Szenerie)
- kinästhetisches System (Informationen über Position des Körpers und der Gliedmaße)

Wenn die Signale aus dem visuellen System, aus dem vestibulären System und von den Muskelrezeptoren nicht miteinander oder mit vorherigen Erfahrungen

übereinstimmen, kommt es u.U. zu Übelkeit oder ähnlichen Beschwerden; so meldet – zum Beispiel – in einem feststehenden Simulator das visuelle System Bewegung, das vestibuläre System jedoch nicht.

Um Simulatorübelkeit bei feststehenden Simulatoren zu reduzieren, wurde Bewegung hinzugefügt (zunächst zufälliges Vibrieren, später Beschleunigungs-cues). Dennoch trat weiterhin Übelkeit auf. In einem beweglichen Simulator kann also trotz der Bewegung ein Sinneskonflikt entstehen, wenn die visuelle Stimulation nicht mit der vom Gleichgewichtssinn wahrgenommenen Bewegung übereinstimmt (d.h. wenn visuelle und Bewegungshinweise nicht vollkommen synchron sind). Fehlende Übereinstimmung führt jedoch nicht immer zu Übelkeit, was die sensorische Konflikttheorie nicht erklären kann.

Die Giftheorie

Die Giftheorie will versuchen, eine evolutionäre Erklärung zu liefern, *warum* überhaupt Übelkeit ausgelöst wird, nämlich als Nebenprodukt eines evolutionären Adaptationsmechanismus, der zum Schutz des Organismus entwickelt wurde. Die Aufnahme verschiedener Gifte durch die Nahrung stört die neuronale Aktivität, die für die Kontrolle des Inputs der sensorischen Systeme und damit der Bewegungskoordination zuständig ist (besonders sensibel reagiert das vestibuläre System auf Gifte). Die Störung dieser Aktivität (ausgelöst durch unnatürliche Bewegung) wird als frühes Anzeichen der Giftabsorption interpretiert. Erbrechen erfolgt nach dieser Theorie also nicht als Reaktion auf Bewegung, sondern um Gifte im Magen zu beseitigen. Die Nichtübereinstimmung zwischen visuellen und vestibulären Inputs, die in Simulatoren auftreten kann, löst (versehentlich) diesen evolutionären Mechanismus aus. Die Befundlage zu dieser Theorie als Erklärung für Simulator Sickness ist allerdings widersprüchlich, und die Theorie erklärt nicht, warum nicht alle Personen, die gleicher Simulation ausgesetzt sind, unter Simulator Sickness leiden.

Die Theorie zur Haltungsinstabilität

Die Postural Instability Theory beschreibt die aufrechte Haltung als ein Hauptverhaltensziel der Menschen. Dabei ist Haltungsstabilität definiert als Zustand, in dem unkontrollierte Bewegungen der Wahrnehmungs- und Handlungssysteme auf ein Minimum reduziert sind. Durch einen abrupten oder starken Wechsel der Umgebung kann Haltungskontrolle verloren gehen, vor allem wenn aufgrund fehlender Erfahrung keine entsprechenden Kontrollstrategien zur Verfügung stehen (z.B. Hinfallen, wenn man anstatt auf

Straßenpflaster auf Eis läuft). Letztendlich wird die Kontrollstrategie irgendwann gelernt werden, so dass Haltungsstabilität wiedererlangt wird (z.B. auf Eis vorsichtig einen Fuß vor den anderen setzen). Laut Theorie entstehen Motion Sickness und Simulator Sickness aufgrund anhaltender Verhaltensinstabilität. Demnach geht Haltungsinstabilität Simulator Sickness Symptomen voraus und ist notwendige Bedingung für die Symptome. Außerdem nimmt die Schwere der Symptome mit Dauer der Instabilität zu. Situationen, die Instabilität hervorrufen können, sind z.B. niedrigfrequentes Vibrieren, Schwerelosigkeit und veränderte Darstellung von z.B. Beschleunigung oder Rotation in Simulatoren. Auf letztere kann nicht mit Haltungskontrolle reagiert werden.

Zusammenfassung

Die Gründe für Simulator Sickness sind noch nicht endgültig geklärt, problematisch bei der Erklärung ist, dass a) nicht alle Personen, die gleicher Simulation ausgesetzt sind, unter Simulator Sickness leiden, b) Personen mit Beschwerden eine Vielfalt unterschiedlicher Symptome zeigen, c) viele Symptome nur subjektiv sind.

3.1.2 Symptomatik von Simulator Sickness

Die Simulatorkrankheit ist polysymptomatisch. Einige Personen weisen alle Anzeichen auf, andere nur wenige oder gar keine. Kein einzelnes Symptom ist vorherrschend.

Zu den in der Literatur genannten Symptomen zählen allgemeines Unwohlsein, Schläfrigkeit und Müdigkeit, Apathie, Kopfschmerzen, (kaltes) Schwitzen, vermehrter Schluckreflex, Blässe, Brechreiz und Erbrechen, verschwommene Sicht, Schmerzen / Ermüdung der Augen, Schwindelgefühl sowie Konzentrationsschwierigkeiten. Die Symptome können zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden anhalten. Als häufigste Symptome werden Schläfrigkeit und Müdigkeit bei ca. 30-50% der Betroffenen, Schwitzen (30%) und Ermüdung/Schmerzen der Augen (29%) genannt. Es findet sich eine große interindividuelle Variabilität bzgl. Anzahl, Reihenfolge, Art, Schwere und Zeitverlauf der physiologischen Reaktionen. Einige Personen haben an einem Tag starke Beschwerden und fühlen sich am nächsten Tag vollkommen wohl.

Verschiedene Faktoren können das Auftreten und die Schwere von Simulator Sickness beeinflussen [5], [6]: das Simulatordesign (z.B. Sichtbereich), die Art der Simulatorexposition (z.B. ungewohnte Manöver) und die individuelle Anfälligkeit (z.B. Geschlecht). Letztere wird Thema im Ergebnisteil sein (Kapitel 4.4).

3.1.3 Abgrenzung von Simulator Sickness zu Motion Sickness

Beide Phänomene haben eine ähnliche Symptomatologie, aber unterschiedliche Ursachen; zum Auslösen von Motion Sickness reicht i. d. R. vestibuläre Stimulation [7], für Simulator Sickness spielt die Vermischung von visuellen und Bewegungshinweisen eine Rolle. Motion Sickness führt öfter zu Übelkeit und Erbrechen als Simulator Sickness; Simulator Sickness führt vermehrt zu Müdigkeit, Augenschmerzen und Kopfschmerzen [8] und entsteht aus ungenauer Simulation aufgrund der Grenzen des Simulators, die Umwelt korrekt darzustellen (z.B. schlechte Auflösung des Displays, Zeitverzögerungen). Simulator Sickness kann auch ohne tatsächliche Bewegung auftreten (feststehende/fixed-base Simulatoren). Allerdings kann es sich bei Beschwerden in beweglichen Simulatoren u. U. auch um tatsächliche Bewegungsübelkeit handeln [9].

Die Begriffe Motion Sickness und Simulator Sickness werden in der Literatur oft auch austauschbar verwendet oder Simulator Sickness wird als eine Variante der Motion Sickness beschrieben.

3.2 Reduktion von Simulator Sickness durch Adaptation

Menschen können lernen, trotz geänderter visueller und auditiver Bedingungen, „adäquat zu funktionieren“ (Adaptation). Die für die Adaptation benötigte Zeit ist abhängig von der Art der Veränderung sowie von individuellen Unterschieden. Menschen, die schnell adaptieren, können dadurch u.U. Übelkeit vermeiden; bei Personen, die länger für eine Adaptation brauchen, können Beschwerden auftreten, bevor sie sich vollkommen adaptiert haben. Große Veränderungen und lange Exposition führen zu erhöhtem Übelkeitsrisiko und erfordern längere Adaptation [10], [11].

Wiederholte Simulatorexposition reduziert in der Regel die Beschwerden; meist wird die größte Reduktion der Symptome von erster zu zweiter Fahrt erreicht. Eine allmähliche Erhöhung der Expositionsdauer hilft bei der Adaptation. Watson (1998) fand signifikant weniger Beschwerden zwischen einer 5-minütigen Baselinefahrt und einer nachfolgenden 17-minütigen Fahrt [12].

4 TRAININGSPROGRAMM AM WÜRZBURGER FAHRSIMULATOR

4.1 Der Würzburger Fahrsimulator

Das Bewegungssystem des Würzburger Fahrsimulators hat 6 Freiheitsgrade und kann lineare Beschleunigungen bis 5 m/s^2 darstellen, rotatorische bis $100^\circ/\text{s}^2$. Es besteht aus sechs elektropneumatischen und drei pneumatischen Aktuatoren (Hub +/- 60 cm; Neigung +/- 10° ; vgl. Abbildung 4-1).



Abbildung 4-1: Der Würzburger Fahrsimulator in Betrieb (links) und während des Aufbaus (rechts). In der Kuppel zu sehen sind die Fahrzeugkonsole (BMW 520i) und die Projektionsfläche für die Frontsicht. / The Würzburg driving simulator while operating (on the left) and under construction (on the right). In the cupola you can see the car console (BMW 520i) and the projection screen that displays the front sight.

Die Fahrzeugkonsole ist voll instrumentiert und entspricht der des serienfertigen Fahrzeugs mit Automatikgetriebe. Für die realistische Darstellung des Lenkmoments sorgt ein auf der Basis eines Lenkmodells gesteuerter Servomotor. Die Projektion erfolgt über drei Röhrenprojektoren (CRT – Cathode Ray Tube), die in der Kuppel angebracht sind. Über die drei Kanäle wird ein Bildausschnitt von 180° dargeboten. Als Außen- und Innenspiegel fungieren LCD-Displays. Insgesamt besteht das System aus zwölf Rechnern, die unter dem Microsoft Betriebssystem Windows NT bzw. Windows 2000 laufen. Der Datenaustausch zwischen den Rechnern erfolgt über ein 100 Mbit Ethernet. Das System wird gesteuert von einem Bedienplatz, 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.

Eine gezielte Änderung des Streckennetzes „online“, d.h. während ein Testfahrer im Simulator fährt, ist möglich. Szenarien müssen nur noch lokal geometrisch konsistent sein. Die globale Repräsentation der Datenbasis erfolgt auf topologischer Ebene. Dies bedeutet, dass Ausschnitte der Szenerie u. U. nur innerhalb des Sichtbarkeitsbereichs des Fahrers maßstabsgetreu gezeichnet werden können. So kann dann das Straßennetz, das der Fahrer gerade nicht überblickt, „heimlich“ umgebaut werden (vgl. [13] und Kaussner, Mark, Grein, Krüger & Noltemeier in diesem Band).

Alle Parameter der Fahrzeugbewegung und –bedienung können aufgezeichnet werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur Erfassung der physiologischen Parameter Puls, Lidschluss und EEG. Die Ausführung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist möglich. Im Datensatz enthalten sind neben Informationen über das Egofahrzeug auch solche über den umgebenden Verkehr.

4.2 Das Simulatortrainingskonzept

Um an Untersuchungen teilnehmen zu können, ist es unabdingbar, dass die Testfahrer nicht mehr unter Simulator-Sickness leiden. Dies ist – neben weiteren – ein Lernziel des Simulatortrainings. Möglicherweise gibt es für das Unwohlsein einiger Testfahrer neben der Inkongruenz zwischen Realwelt und simulierter Welt noch weitere Ursachen, z.B. kann die ungewohnte Situation Stress oder auch Angst hervorrufen.

Ein zusätzlicher Grund für ein ausführliches Simulatortraining ist ein Fahrzeug- und Fahrgefühl, das nicht dem im eigenen Auto entspricht. Allein die Bedienelemente sind in aller Regel gewöhnungsbedürftig. Beim Fahren stellen die meisten Personen schnell fest, dass sich das Lenken und Bremsen zunächst sehr ungewohnt anfühlt und im Simulator deutlich schlechter realisiert ist. Dieser Unterschied zum Fahren im eigenen Wagen bewirkt auch, dass die Testfahrer sehr schnell merken, dass sie mit ihrer üblichen Fahrfertigkeit hier nicht auskommen werden, sondern das Fahren im Simulator eigens lernen müssen.

4.2.1 Lernziele

Das hier vorgestellte Trainingskonzept zielt auf objektiv sicheres Fahren, auf ein subjektiv sicheres Fahrgefühl und auf den Abbau von Simulator Sickness. Der

vorliegende Artikel beschäftigt sich in der Ergebnisdarstellung ausschließlich mit dem Abbau von Simulator Sickness.

Objektiv sicheres Fahren

Beim Kennenlernen des Simulatorfahrzeugs geht es um den Umgang mit den simulationsbedingten Verzögerungen beim Beschleunigen, Lenken und Bremsen. Außerdem werden folgende Anforderungen eingeübt:

- Spurhaltung
- gezieltes Beschleunigen und Bremsen
- Abstand halten
- Abschätzung der Entfernungen und Geschwindigkeiten anderer
- Abschätzung der eigenen Entfernung und Geschwindigkeit

Zu den Kriterien für objektiv sicheres Fahren gehören: keine Kollisionen mit Objekten, Quer- oder Gegenverkehr; punktgenaues Beschleunigen und Bremsen (+/- 2 m Markierungslinie); keine Fahrbahnrandüberschreitungen; Einhaltung 80% Spurkanal bei 3,50 m Spurbreite; realistische (StVO) bzw. angemessene (v85) Geschwindigkeitswahl.

Subjektiv sicheres Fahrgefühl

Nach jeder Fahrt werden den Testfahrern Fragebögen zur Fahraufgabe vorgelegt. Aus den beantworteten Fragebögen sollte bei erfolgreichem Training hervorgehen, dass ein subjektiv sicheres Fahrgefühl beim Testfahrer gewährleistet ist. D.h. dieselben Fahraufgaben sollten im Laufe der Zeit als weniger schwierig wahrgenommen werden und die Einschätzung, wie gut das Fahrzeug beherrscht wird bzw. wie sicher die Fahraufgaben gemeistert werden, sollte zunehmen.

Abbau von Simulator Sickness

Testfahrer, die an Untersuchungen im Simulator teilnehmen, müssen frei von Simulator Sickness Beschwerden sein, um die Untersuchungsergebnisse nicht zu verfälschen. Die Ergebnisse zu diesem Lernziel werden in unter 4.4 ausführlich dargestellt.

4.2.2 Ablauf des Trainings

Durch ein Expertenrating wurden zunächst verschiedene für Übelkeit kritische Fahrmanöver ausgewählt, die zumindest nach erfolgtem Training keine Übelkeit (mehr) auslösen sollten. Diese Manöver wurden in ein ausführliches Trainingskonzept eingepasst, das alle Probanden durchlaufen. Das Konzept

sieht vor, die Probanden langsam an immer kritischere Fahrmanöver hinzuführen, bis ein Gewöhnungseffekt erreicht wird und keine Simulator Sickness mehr auftritt. Auch die Fahrdauer im Simulator wird nach und nach erhöht. Zwischen den Fahrten finden Befragungen zum Fahrerzustand, zu körperlichen Beschwerden und zu den Fahrten selbst statt. Es wird jeweils auch ausreichend Zeit für Pausen (und Frischluft!) eingeplant.

1. Fahrt: Zum Kennenlernen

Die erste Fahrt soll dem Testfahrer die Möglichkeit geben, einen ersten Eindruck vom Simulator zu gewinnen. Die Aufgabe des Fahrers besteht zunächst im Ausprobieren, d.h. der Fahrer kann in dieser Fahrt einmal tun und lassen, was ihm beliebt, also beschleunigen und bremsen, Schlangenlinien fahren etc. Auch die Geschwindigkeitswahl ist ihm überlassen.

Bei der Strecke handelt es sich um eine Landstraße (Spurbreite 3,50m), die auch durch Ortschaften führt. In diesen Ortschaften parken jeweils mehrere Fahrzeuge auf der Straße, um den Testfahrer zum Lenken zu animieren. Der Fahrer hat auf dieser Strecke auch Gegenverkehr. Dauer dieser Simulatorfahrt: ca. 8-10 min.

2. Fahrt: Training von Beschleunigung und Bremsen

Die einzelnen Fahraufgaben werden über Verkehrsschilder vorgegeben. Es soll geübt werden, Abstände abzuschätzen und gezielt auf bestimmte Schilder bzw. Linien hin anzuhalten oder auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu beschleunigen. Der Trainingsleiter instruiert den Testfahrer online für jeden Streckenabschnitt. Dauer dieser Simulatorfahrt: ca. 10-12 min.

3. Fahrt: Training von Beschleunigung und Bremsen und doppelte Fahrspurwechsel

Hierbei handelt es sich um die gleiche Aufgabe wie bei der 2. Fahrt, allerdings ohne die Online-Instruktion durch den Trainingsleiter. Nach dem Abschnitt Beschleunigen/Bremsen werden 11 doppelte Fahrspurwechsel vorgegeben. Die ersten vier Spurwechsel sollen mit 30 km/h gefahren werden, die nächsten vier mit 50 km/h, die letzten drei mit 80 km/h. Nach jeder Einheit findet eine Befragung durch den Trainingsleiter analog zu oben statt. Dauer dieser Simulatorfahrt: ca. 12-15 min.

4. Fahrt: Freie Geschwindigkeitswahl

Die sog. Freie Fahrt ist eine ca. 10 km lange Landstraße (Spurbreite 2,70 m, ohne Mittelstreifen) mit engen Kurven und Gegenverkehr, die auch durch zwei

Ortschaften führt. Der Fahrer wird instruiert, ein beanspruchendes Fahren herzustellen: Er soll sich selbst fordern, indem er eine Geschwindigkeit wählt, bei der es ihm gerade noch möglich ist, keine Fahrfehler zu machen. Der Fahrer soll so gut wie möglich in seiner Fahrspur bleiben, Berührungen mit den Fahrbahnrändern sowie Kollisionen mit dem Gegenverkehr unbedingt vermeiden. Er soll dabei so schnell wie möglich fahren, bzw. so schnell wie er es vertreten kann. Die freie Fahrt dient dem Kennenlernen der eigenen Grenzen. Dauer dieser Simulatorfahrt: ca. 10-15 min.

5. Fahrt: Messfahrt

In den vorhergehenden Fahrten hatte der Testfahrer Gelegenheit, mit dem grundsätzlichen Verhalten des Simulatorfahrzeugs vertraut zu werden. In dieser letzten Fahrt des Grundkurs 1 sind alle Lernziele in einem Parcours enthalten:

- Spur halten
- Gezielt beschleunigen und bremsen: an Kreuzungen heranzufahren und anhalten, weiter fahren (X-Kreuzung mit Querverkehr) bzw. abbiegen (T-Kreuzung mit Querverkehr), Wahl des optimalen Zeitfensters
- Abstand halten (Car Follow)
- Entfernungen/Geschwindigkeiten anderer abschätzen (Kreuzung durchqueren, bzw. abbiegen mit Querverkehr)
- eigene Entfernung/Geschwindigkeit abschätzen

Die Aufgabe des Testfahrers ist es, die dargebotenen Situationen ohne Fahrfehler zu bewältigen. Als Fahrfehler gelten Berührung des Fahrbahnrandes, Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern oder Objekten, unangemessene Geschwindigkeit (z.B. Schleudern in Kurven), unangemessener Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. Sicherheitsabstand ist nicht gewährleistet). Die Geschwindigkeit darf im Rahmen der Straßenverkehrsordnung frei gewählt werden. Dauer dieser Simulatorfahrt: ca. 20-25 min.

4.3 Beschreibung der Testfahrer und der Fragebögen

108 Personen (51 Frauen und 57 Männer) haben am hier beschriebenen Trainingskonzept teilgenommen. Die Fahrer sind zwischen 22 und 80 Jahre alt (M=35.08 Jahre, SD=13.05; Frauen: M= 33.16, SD=11.20; Männer: M=36.81, SD=14.40).

Nach den Fahrten 3 – 5 wurden die Symptome der Fahrer mittels eines Fragebogens mit 34 Items auf einer sechsstufigen Skala (vgl. Abbildung 4-2, gar nicht = 1, sehr stark = 6) erhoben. Daraus wird ein Summenscore berechnet ("Ausprägung der Simulator Sickness Symptome"; ein Wert von 34 bedeutet demnach, dass gar kein Symptom vorliegt).

Wie stark treffen die Symptome auf Ihr Befinden nach der Simulatorfahrt auf Sie zu?	gar nicht	sehr wenig	wenig	mittel	stark	sehr stark
1. Fühlen Sie sich müde und zerschlagen?						
2. Ist Ihr körperliches Leistungsvermögen verringert?						
3. Ist Ihnen schwindlig?						
4. Fühlen Sie sich benommen?						
5. Haben Sie Kopfschmerzen?						

Abbildung 4-2: Ausschnitt aus dem Symptom-Fragebogen nach den Trainingsfahrten / Extract from the symptom questionnaire to be completed after the training trials

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Simulator Sickness: Überblick

Nach jeder Trainingsfahrt wurden die Fahrer gefragt, ob ihnen übel geworden sei. Abbildung 4-3 gibt einen Überblick über den Abbau von Simulator Sickness für 108 Testfahrer: Die Anzahl der Testfahrer, denen nach der jeweiligen Fahrt übel wird, nimmt mit jeder Fahrt ab. Eine geringe Anzahl von Personen bricht aber das Training aufgrund von Übelkeit zunächst ab (7 von 108).

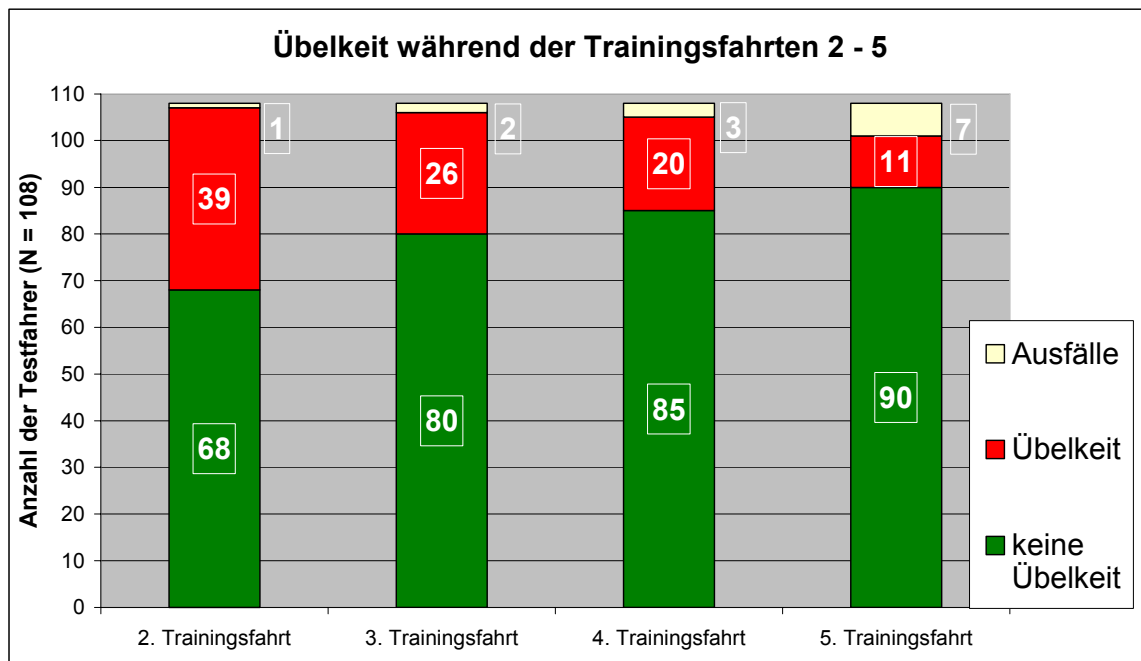


Abbildung 4-3: Simulator Sickness im Trainingsverlauf / Simulator sickness in the course of the training

Abbildung 4-4 zeigt die Gesamtbilanz der 108 Testfahrer. Einige der Fahrer, die beim 1. Trainingstermin abgebrochen haben oder die nach Ablauf des Trainings noch unter leichter Simulator Sickness litten, nahmen an einem weiteren Trainingstermin mit 2 Fahrten teil und beendeten das Training erfolgreich. Für einen Teil der Fahrer steht ein solcher Termin noch aus.

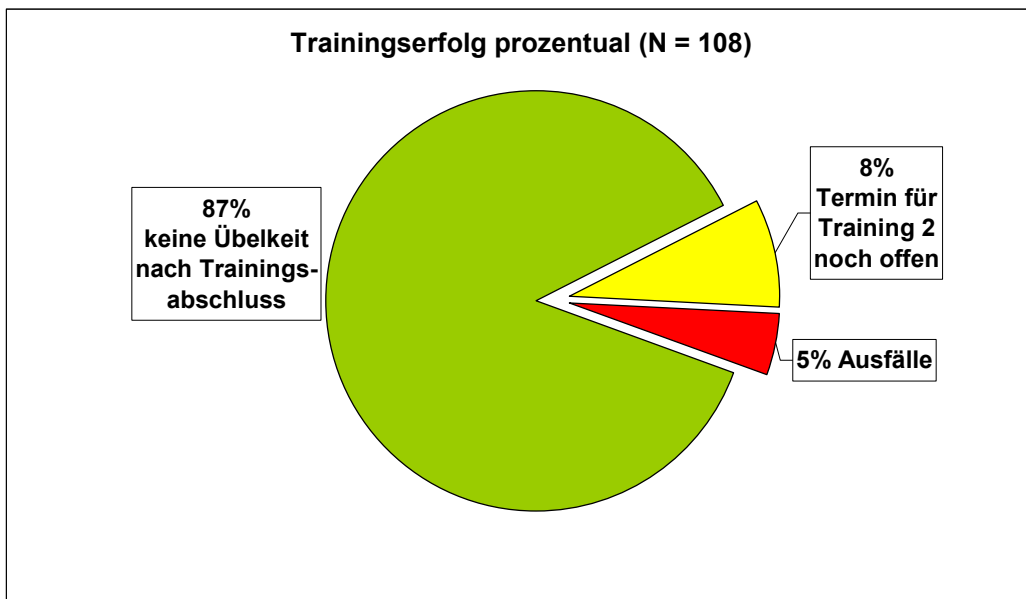


Abbildung 4-4: Trainingserfolg für 108 Testfahrer / Success of the training for 108 test drivers

Nach den Fahrten 3 – 5 wurden die einzelnen Beschwerden der Testfahrer differenziert mit den 34 Items des Symptom-Fragebogens erfasst (vgl. Kapitel 4.3). Einige Testfahrer weisen mehrere Anzeichen auf, andere nur wenige oder gar keine (6 Personen nach der 3., je 9 nach der 4. und 5. Fahrt). Von diesen 34 erfragten Symptome sind die hier genannten die häufigsten bzw. ausgeprägtesten:

- Fühlen Sie sich müde und zerschlagen?
- Ist Ihr körperliches Leistungsvermögen verringert?
- Fühlen Sie sich benommen?
- Ist Ihnen schwindlig?
- Haben Sie feuchte Hände?
- Haben Sie kalte Hände?
- Verspüren Sie Übelkeit?
- Sind Ihre Hände zittrig?

Im Folgenden werden beispielhaft die Beschwerdensummen nach der 3. Fahrt (N = 100 bzw. Teilstichproben) für verschiedene Personenmerkmale dargestellt.

4.4.2 Simulator Sickness in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht

Eine Varianzanalyse mit den Faktoren Altersgruppe und Geschlecht für die Ausprägung der Simulator Sickness Symptome nach der 3. Fahrt (vgl. 4.3) ergab keine signifikanten Effekte (vgl. Tabelle 4-1 und Abbildung 4-5). Bei jungen Frauen sind die Beschwerden etwas höher ausgeprägt, bei Männern über 50 Jahren sind sie am geringsten.

Tabelle 4-1: Varianzanalyse zur Ausprägung der Simulator Sickness mit den Faktoren "Geschlecht" und "Altersgruppe" / Analysis of variance for the occurrence of simulator sickness with the factors "gender" and "age"

	SQ	df	MQ	F	p
Konstante	146537.2	1	146537.2	978.95	0.00
GESCHLECHT	383.5	1	383.5	2.56	0.11
ALTERSGRUPPE	666.9	2	333.5	2.22	0.11
GESCHLECHT*ALTERSGRUPPE	456.6	2	228.3	1.52	0.22
Fehler	14070.6	94	149.7		

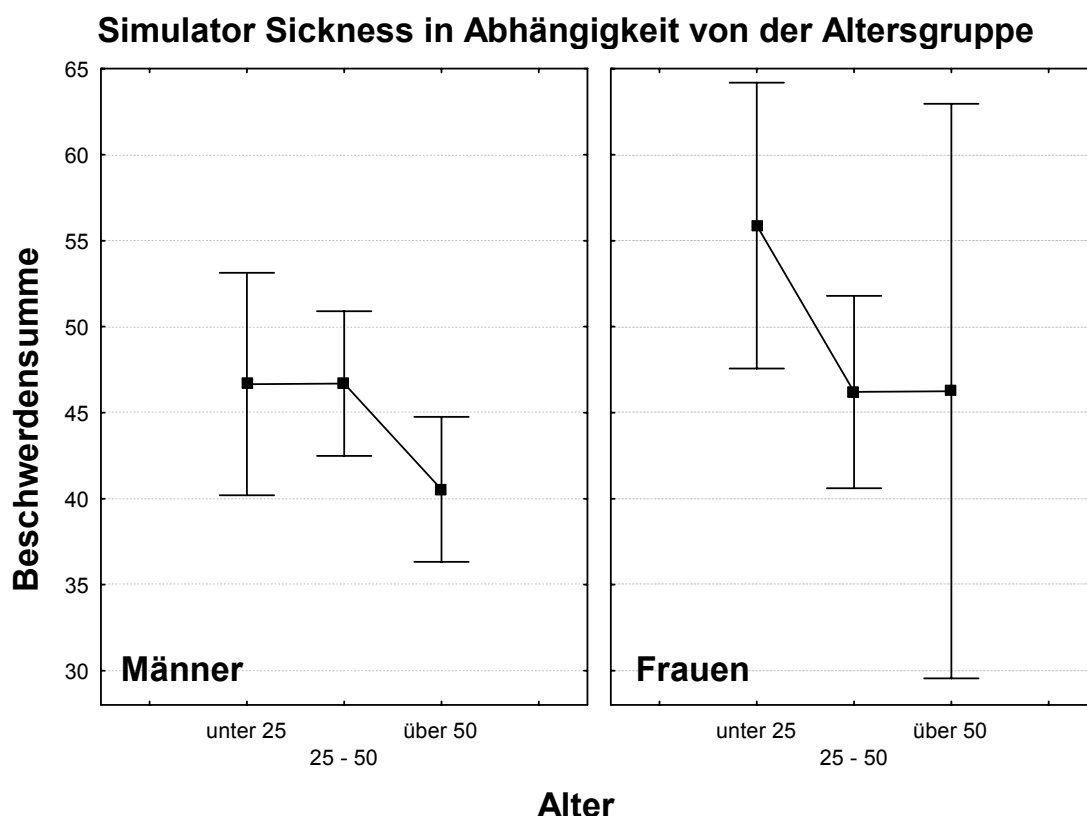


Abbildung 4-5: Mittlere Beschwerdenausprägung für Männer und Frauen nach Altersgruppen. Vertikale Balken bedeuten 0.95 Konfidenzintervalle. / Average occurrence of symptoms for men and women separated by different age groups. Vertical bars stand for a confidence interval of 0.95.

4.4.3 Simulator Sickness in Abhängigkeit von Persönlichkeitsvariablen

Für eine Teilstichprobe von N = 46 (26 Frauen und 20 Männer) liegen die Neurotizismuswerte aus dem Eysenck-Persönlichkeits-Inventar (EPI-Q) vor. Neurotizismus erfasst allgemeine somatische Labilität und Angstsymptome. Die Daten der Freiburger Beschwerdenliste (FBL von Fahrenberg [14]) wurden für eine Teilstichprobe von N = 30 (14 Frauen, 16 Männer) erfasst. Somit können Zusammenhänge zwischen diesen Persönlichkeitsmerkmalen und Simulator Sickness untersucht werden. Korrelationen zwischen Neurotizismuswerten aus dem EPI-Q und der Beschwerdensummen nach den Fahrten 3 – 5 werden nicht signifikant. Es zeigt sich auch kein signifikanter Zusammenhang zwischen hohem FBL-G Summenwert (d.h. vielen oder häufigen Beschwerden allgemeiner Art) und Simulator Sickness.

4.4.4 Simulator Sickness in Abhängigkeit vom Fahrerzustand vor Trainingsbeginn

Vor der ersten Simulatorfahrt (und auch vor jeder weiteren Fahrt) wurden alle Testfahrer zu ihrem momentanen Zustand anhand von gegensätzlichen Eigenschaften auf einer 6-stufigen Skala befragt (s. Abbildung 4-6). Insgesamt wurden 12 Gegensatzpaare dargeboten. Im Folgenden soll auf die beiden in Abbildung 4-6 dargestellten Items näher eingegangen werden. Jedoch interessiert hier nicht der Verlauf über die einzelnen Fahrten hinweg, sondern es geht um den Einfluss des Fahrerzustandes vor der allerersten Fahrt auf die nachfolgend erlebte Simulator Sickness.

Müde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Wach
Frisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Erschöpft

Abbildung 4-6: Befragungsbeispiele für den Zustand vor Trainingsbeginn / Examples of questions to assess the driver's condition before the training

Zustand vor dem Training: müde wach (6-stufig):

Für die männlichen Teilnehmer am Simulatortraining gilt, dass Wachheit vor Beginn des Trainings negativ mit der Ausprägung von Beschwerden korreliert, je müder sie also sind, umso höher sind auch die Symptome ausgeprägt. Für die Frauen wird dieser Zusammenhang nicht signifikant, vgl. Tabelle 4-2.

Tabelle 4-2: Zusammenhang zwischen Müdigkeit vor Trainingsbeginn und Simulator Sickness / Correlation between fatigue before the training and simulator sickness

Müdigkeit zu Trainingsbeginn und Symptomausprägung nach (N = 100)	
Männer	$r = -0.3845, p = 0.0049$
Frauen	$r = -0.1778, p = 0.2790$

Zustand vor dem Training: frisch erschöpft (6-stufig)

Die Ausprägung von Beschwerden nach der 3. Fahrt korreliert positiv mit der Ausprägung an Erschöpfung, die vor Trainingsbeginn erfragt wurde. In Tabelle 4-3 sind die Korrelationen dargestellt, die sowohl für Männer als auch für Frauen signifikant werden.

Tabelle 4-3: Zusammenhang zwischen Erschöpfung und Simulator Sickness / Correlation between exhaustion and simulator sickness

Erschöpfung vor Trainingsbeginn und Symptomausprägung (N = 100)	
Männer	$r = 0.4124, p = 0.0024$
Frauen	$r = 0.3283, p = 0.0413$

Die hier gezeigten Zusammenhänge zwischen Müdigkeit bzw. Erschöpfung und der Anfälligkeit für Simulator Sickness finden sich auch in der Literatur [15].

4.4.5 Diskussion

Über 80 der 108 teilnehmenden Testfahrer haben nach erfolgreichem Training (nach letzter Fahrt keine Simulator Sickness mehr vorhanden) an Untersuchungen mit teilweise sehr langen Simulatorfahrten teilgenommen. 4 von diesen 80 Probanden wurde bei einer späteren Untersuchung leicht übel, in 2 dieser Fälle wurden allerdings auch extreme Manöver gefahren (mehrfach 90° abbiegen und viele sehr enge Kurven).

Insgesamt hat sich das hier vorgestellte Trainingskonzept, langsam an immer kritischere Fahrmanöver hinzuführen bis ein Gewöhnungseffekt erreicht wird und die Fahrdauer im Simulator nach und nach zu erhöhen, für unsere Ziele als erfolgreich erwiesen: Simulator Sickness (sofern vorhanden) wird abgebaut. Nachdem über 100 Testfahrer an dem beschriebenen Simulatortraining teilgenommen haben, wurde das Konzept überarbeitet, um den Trainingserfolg weiter zu optimieren: Dazu wird für anfällige Personen nach der ersten Fahrt eine ca. 10-minütige, einfache Car-Follow-Fahrt eingeschoben. Außerdem wird vor die recht beanspruchenden Fahrten 2 und 3 (Bremsen, Beschleunigen, Fahrspurwechsel) eine 15-minütige Landstraßenfahrt (abwechslungsreicher Parcours) geschaltet. Dieser Parcours plus ein direkt angehängtes Autobahnstück (Fahrdauer ca. 30 min) wird auch als letzte Fahrt vorgegeben. Außerdem wurde dazu übergegangen, die Testfahrer bei Terminvereinbarung zu fragen, ob sie eher Morgen- oder Abendtypen sind und die Trainingstermine im Würzburger Fahrsimulator entsprechend zu legen, um Simulator Sickness Beschwerden nicht unnötig durch Müdigkeit hervorzurufen. Außerdem werden die Probanden darauf hingewiesen, einen Termin so zu wählen, dass sie relativ frisch am Training teilnehmen können (also nicht mit Erkältung, Kater oder nach einem sehr langen Arbeitstag). Die Erfahrung hat gezeigt, dass die jeweilige Tagesform Einfluss auf Simulator Sickness haben kann.

Erste Erfahrungen mit diesem modifizierten Training zeigen, dass dieses Konzept für die Adaptation sehr hilfreich ist.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Havron, M. D. & Butler, L. F. (1957). Evaluation of Training Effectiveness of the 2FH2 Helicopter Flight trainer Research Tool. *Technical Report NAVTRADEBCEN 1915-00-1*. Port Washington, NY: Naval Training Device Center.
- [2] Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). *Motion Sickness*. London: Academic Press.
- [3] Treisman, M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science*, 197, 493-495.
- [4] Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). An ecological theory of motion sickness and postural instability, *Ecological Psychology*, 3, 195-240.
- [5] Kolasinsky, E. M. (1995). *Simulator sickness in virtual environments*. United States Army Research Institute Technical Report 1027.
- [6] Watson, G. S. (2000). *A synthesis of simulator sickness studies conducted in a high-fidelity driving simulator*, Driving Simulation Conference, Paris, Frankreich, September 2000.
- [7] Money, K. E. (1970). Motion sickness. *Physiological Reviews*, 50(1), 1-39.
- [8] DiZio, P. & Lackner, J. R. (1992). Spatial orientation, adaptation, and motion sickness in real and virtual environments. *Presence*, 1, 319-328.
- [9] Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E., Berbaum, K. S. & Lilienthal, M. G. (1992). Use of a motion sickness history questionnaire for prediction of simulator sickness. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 63(7), 588-593.
- [10] McCauley, M. E. & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: perception of self-motion in virtual environments, *Presence*, 1(3), 311-318.
- [11] Welch, R. B. (1986). Adaptation of space perception. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* (pp. 24:1- 24:45). New York: John Wiley and Sons.
- [12] Watson, G. S. (1998). The effectiveness of a simulator screening session to facilitate simulator sickness adaptation for high-intensity driving scenarios.

Proceedings of the IMAGE 1998 Conference, pp. 1-6. Scottsdale, AZ: The IMAGE Society.

[13] Kaussner, A., Grein, M., Krüger H.-P., Noltemeier, H. (2001). An architecture for driving simulator databases with generic and dynamically changing road networks. *Proceedings of the Driving Simulation Conference*, Sophia Antipolis, France.

[14] Fahrenberg, J. (1975). Freiburger Beschwerdenliste. *Zeitschrift für Klinische Psychologie. Forschung und Praxis*, 79-100.

[15] 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.