

Projekt: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei



Abschlussbericht – Teil II:

Kinetose in der Fahrsimulation

Autoren:
Dipl.-Psych. Alexandra Neukum
Dipl.-Psych. Heidi Grattenthaler

Juli 2006
IZVW

Neukum, A. & Grattenthaler, H. (2006). *Kinetose in der Fahrsimulation* (Projekt: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei, Abschlussbericht – Teil II). Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg. URN: urn:nbn:de:bvb:20-opus-77829

Dieses Dokument wird bereitgestellt durch den Online - Publikationsservice der Universität Würzburg.



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	4
2	LITERATURANALYSE	5
2.1	Begriffsdefinitionen	5
2.2	Ätiologie – Theoretische Erklärungsansätze zur Entstehung von Simulator Sickness.....	6
2.3	Symptomatik und Verfahren zur Erfassung von Simulator Sickness	7
2.3.1	Symptomatologie	7
2.3.2	Verfahren zur Erfassung von Kinetose	8
2.3.3	Inzidenzen und Nachwirkungen der Simulator Sickness	14
2.3.4	Einflussfaktoren und Prädiktion	19
2.4	Zusammenfassende Bewertung und methodische Anmerkungen.....	29
3	DATENERHEBUNGEN ZUR KINETOSE IM PROJEKT VTS	31
3.1	Übersicht der Evaluationsarbeiten	31
3.2	Untersuchungsreihe I: Ausfallraten bei Variation der Konfigurationen	32
3.2.1	Maßnahmen aufgrund der Erfahrungen der Trainingstestläufe	32
3.2.2	Ausfallraten der Ausgangskonfiguration	32
3.2.3	Beobachtungsreihe zur Ansteuerung des Bewegungssystems	34
4	UNTERSUCHUNGSREIHE II: SYMPTOMATIK, INZIDENZ UND NACHWIRKUNGEN	38
4.1	Methodischer Zugang	38
4.1.1	Trainingsplan	38
4.1.2	Befragungsinstrumentarium und Ablauf der Untersuchung	39
4.1.3	Stichprobenbeschreibung	41
4.2	Ergebnisse	42
4.2.1	Ausfallraten	42
4.2.2	Symptomatik: SSQ-Scores	48
4.2.3	Symptomatik: Analyse auf Symptomebene	59
4.2.4	Nachwirkungen	67
4.2.5	Faktorstruktur und modifizierte Sickness-Scores	72
5	UNTERSUCHUNGSREIHE III: EINFLUSS DES BEWEGUNGSSYSTEMS.....	82
5.1	Ausfallraten.....	82

5.2	Sickness-Scores	83
6	ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG UND DISKUSSION	85
6.1	Analyse der Kinetose-Beschwerden in der Fahrsimulation	85
6.2	Symptomstruktur und Übertragbarkeit der Kennedy-Scores	87
7	LITERATUR	89
8	ANHANG	94
8.1	Motion History Questionnaire	94
8.2	Befragungsinstrumentarium	96

1 Einleitung

Die sog. Simulatorkrankheit ist eine bekannte negative Begleiterscheinung der Exposition in virtuellen Umwelten. Umfassende Untersuchungen hierzu stammen vor allem aus dem fliegerischen Bereich, in dem Simulatoren seit mehreren Jahrzehnten als Trainingsmethode eingesetzt werden. Auf dem Gebiet der Fahrsimulation liegen bislang nur wenige systematische Studien vor.

Mit Aufnahme des Trainings im Projekt „Simulation von Einsatzfahrten“ (März 2003) wurde sehr schnell offensichtlich, dass das Auftreten und das Ausmaß von Simulatorkrankheitsbeschwerden ein ernst zu nehmendes Problem darstellt, das die Trainingseffizienz erheblich beeinträchtigt. Vor allem auf technischer Seite, aber auch auf Seiten der Trainingsgestaltung wurden massive Anstrengungen unternommen, um dem Problem gemeinsam entgegenzuwirken. Die Thematik wurde deshalb zum Gegenstand umfassender begleitender Evaluationsarbeiten, die im vorliegenden Teilbericht II zusammenfassend dargestellt werden.

Der Text gibt zunächst einen Überblick des Literaturstands zur Simulatorkrankheit (Kapitel 2). Eingegangen wird dabei auf theoretische Erklärungsansätze zur Entstehung der Beschwerden und die resultierende Symptomatik. Weiterhin dargestellt werden etablierte Verfahren zur Erfassung von Kinetose, die vor allem im fliegerischen Bereich entwickelt wurden und in jüngerer Zeit auch auf andere Anwendungsbereiche übertragen werden. Zusammengefasst werden Resultate von Studien, die die Wirkung unterschiedlicher Einflussfaktoren aufzeigen.

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen sind Gegenstand der Folgekapitel. Berichtet werden zunächst die Resultate der Beobachtungen in der Anfangsphase des Trainings, in der verschiedene Modifikationen der Ansteuerung des Bewegungssystems vorgenommen wurden (Kapitel 3). Die Darstellung der Resultate dieser Screeningphase, in der kleine Stichproben untersucht wurden, beschränkt sich auf die Analyse der beobachteten Ausfallraten.

Gegenstand einer weiterführenden Untersuchungsreihe war die nähere Analyse der Symptomstruktur, der Inzidenz, der Ausprägungen sowie der Nachwirkungen akuter Simulatorkrankheitsbeschwerden (Kapitel 4). In dieser Studie wurde u. a. der von Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal (1993) entwickelte Simulator Sickness Questionnaire eingesetzt, der als das meisten etablierte subjektive Verfahren zur Erfassung der Simulatorkrankheit gilt. Die Grundlage dieser Datenerhebung bildete eine Stichprobe von mehr als N=200 Trainingsteilnehmern.

Abschließend berichtet werden die Ergebnisse einer Studie, die die Auswirkungen des Fahrens bei aktiviertem bzw. deaktiviertem Bewegungssystem vergleichend analysiert (Kapitel 5). Auch diese Studie stützt sich auf einen großen Stichprobenumfang von N>200 Fahrern.

An dieser Stelle sei allen Beteiligten – insbesondere dem Simulatorteam in Sulzbach-Rosenberg und den Mitarbeitern von RDE – für die konstruktive Zusammenarbeit und die Bereitschaft, sich auch mit diesem „negativen Begleitthema“ offen auseinanderzusetzen, herzlich gedankt.

2 Literaturanalyse

2.1 Begriffsdefinitionen

Der Fachausdruck Kinetose leitet sich vom griechischen Wort für „bewegen“ („kinein“) ab und fasst als Oberbegriff die sog. Reise- und Bewegungskrankheiten zusammen. Dabei handelt es sich um eine durch wiederholte Stimulation des Vestibularapparates – vor allem durch plötzliche und schnelle Bewegungen – verursachte vorwiegend vegetative Symptomatik aus Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Schweißausbrüchen, Blutdruckschwankungen bzw. Hypotonie und Kopfschmerz, die häufig auf Flug-, See-, Auto- und Eisenbahnreisen auftritt (Hildebrandt, 1997). Der Begriff Bewegungskrankheit bezieht sich also auf die für den Menschen unangenehmen Begleiterscheinungen, die dem passiven Transport in Fahrzeugen und anderen Beförderungsmitteln folgen können (Money, 1970; zitiert nach Kennedy, Hettinger & Lilienthal, 1990).

Der englische Begriff „Motion Sickness“, der übersetzt „Bewegungskrankheit“ bedeutet, wurde das erste Mal von Irwin (1881) benutzt. Dieser befasste sich eigentlich mit dem Phänomen der Seekrankheit, führte aber den Begriff „Motion Sickness“ als umfassendere Bezeichnung ein. Umfassender deshalb, weil die mit der Seekrankheit verbundenen Symptome nicht nur bei der Fortbewegung auf dem Wasser auftreten, sondern auch in anderen Situationen, die Bewegung beinhalten. Die Seekrankheit ist ein klassisches Beispiel der Bewegungskrankheit. Darüber hinaus erfahren viele Menschen andere Formen der Kinetose, wie z.B. beim Fliegen (Luftkrankheit) oder bei Mitfahrten im Auto (Reisekrankheit).

Neue Formen der Motion Sickness resultieren aus dem zunehmenden Einsatz von Simulatoren im Aus- und Fortbildungsbereich sowie Untersuchungen in sog. virtuellen Umwelten. Erstmals festgestellt und begrifflich eingeführt wurde das Phänomen der sog. Simulator Sickness (Simulatorkrankheit) von Havron und Butler (1957), die Untersuchungen in einem Helikoptersimulator durchführten. Die in Verbindung mit der Simulatorkrankheit auftretenden Beschwerden¹ bilden eine Konstellation von bewegungskrankheitsähnlichen Symptomen und Anzeichen (Kennedy, Hettinger et al., 1990).

Motion Sickness wird auf eine Bewegungsexposition oder auf Aspekte einer sich bewegenden Umwelt zurückgeführt, wobei allgemein akzeptiert wird, dass eine Stimulation des Vestibularapparates notwendig ist, um Motion Sickness beim Menschen auszulösen. Tyler und Bard (1949; zitiert nach Casali, 1986) führen Bewegung als die Hauptursache der Motion Sickness an. Die „echte“ Bewegungskrankheit setzt also physikalische Bewegung voraus, die in einem Simulator nicht zwangsläufig gegeben sein muss. So treten z.B. auch in Simulatoren ohne Bewegungssystem Beschwerden auf². Da diese Simulatoren nur optisch Bewegungseindrücke vermitteln, sollten die Symptome, die sie verursachen, nicht mit dem Begriff „Motion Sickness“ benannt werden (Casali, 1986).

Generell versucht man in der Simulation reale Bewegungssituationen, wie z.B. Fliegen oder Autofahren, möglichst realitätsnah abzubilden, was eine dynamische Bewegungsdarstellung erfordert. Dabei ist die Simulation technischen Beschränkungen unterworfen, so dass ein perfektes 1:1-Abbild der Realität nicht geschaffen werden kann. Ein Simulator stellt die einzelnen Stimuli einer sich bewegenden, realen Umwelt in Abhängigkeit von der technischen Ausstattung nur mehr oder weniger vollständig

¹ Die Symptomatologie der Simulator Sickness wird unter Punkt 2.3.1 ausführlicher behandelt.

² Der Einfluss des Bewegungssystems auf die Simulatorkrankheit wird unter Punkt 2.3.4.2 näher ausgeführt.

dar. Die dabei beim Anwender auftretenden Beschwerden stehen so zwar in einem Zusammenhang mit der Bewegung, sind aber nicht auf wahre physikalische Bewegung beschränkt (Casali, 1986).

2.2 Ätiologie – Theoretische Erklärungsansätze zur Entstehung von Simulator Sickness

In der Literatur finden sich verschiedene Theorien zur Entstehung der Simulator Sickness. Die am weitesten akzeptierte ist die sog. sensorische Konflikttheorie (Sensory Conflict Theory; Reason & Brand, 1975). Synonym werden für diesen Ansatz auch folgende Begriffe verwendet: „mismatch“, „neural mismatch“, „cue conflict“ und „sensory rearrangement theory“ (Kennedy, Hettinger et al., 1990). Etwas jünger ist die Theorie der Haltungsinstabilität (Postural Instability Theory; Riccio & Stoffregen, 1991). Beide Erklärungsansätze³ berücksichtigen den Einfluss von visuellem und vestibulärem System, deren Interaktion von großer Bedeutung für die Bewegungswahrnehmung ist.⁴ Allgemein gilt als belegt, dass nur bei Menschen mit einem intakten vestibulären System Symptome der Bewegungskrankheit ausgelöst werden können (z.B. Crampton, 1990; Cheung, Howard & Money, 1991; Kellogg, Kennedy & Graybiel, 1965).

Die **sensorische Konflikttheorie** (Sensory Conflict Theory) nach Reason & Brand (1975) ist die am weitesten verbreitete und am meisten anerkannte Theorie. Sie wurde zunächst zur Erklärung der Motion Sickness entwickelt und später auf die Simulator Sickness ausgedehnt. Ihre Grundannahme besteht darin, dass die menschliche Orientierung im dreidimensionalen Raum aufgrund von vier sensorischen Inputs (Bogengänge, Maculaorgane, visuelles System, Propriozeption) an das zentrale Nervensystem erfolgt. Das Auftreten der Simulatorkrankheit wird erklärt über eine Nichtübereinstimmung zwischen dem, was das sensorische System aufgrund früherer Erfahrungen erwartet und dem, was dann tatsächlich im Simulator wahrgenommen wird. Diese Diskrepanz verursacht einen internen Konflikt, der nicht gelöst werden kann und letztendlich Beschwerden hervorruft. Beispielsweise tritt ein solcher Konflikt bei der Fahrt in einem feststehenden Simulator auf. Die visuellen Informationen auf der Projektionsleinwand zeigen eine lineare Beschleunigung an, da sich aber der Fahrer selbst nicht bewegt, fehlen die dazugehörigen vestibulären Reize.

In einem Simulator mit Bewegungssystem werden vestibuläre Reize durch die Bewegungen der Plattform vermittelt. Hier kann es durch mangelnde Übereinstimmung zwischen der durch das Sichtsystem vermittelten visuellen Information und der durch die Plattform vermittelten Bewegungsinformation zu sensorischen Konflikten kommen (vgl. hierzu auch Punkt 2.3.4.2).

In der **Theorie der Haltungsinstabilität** (Postural Instability Theory) nach Riccio und Stoffregen (1991) wird die Bewegungskrankheit nicht auf einen sensorischen Konflikt zurückgeführt, sondern auf eine länger andauernde Instabilität bei der Haltungskontrolle. Haltungsstabilität ist dabei definiert als Zustand, in dem unkontrollierte Bewegungen der Wahrnehmungs- und Handlungssysteme auf ein Minimum reduziert sind. Die Maximierung der Effizienz der Haltungskontrolle erfolgt durch den Erwerb von Kontrollstrategien. Nach Ansicht der Autoren ist diese Anpassung (=Lernen) durch eine zunehmende Wahrnehmungsunterscheidung der Dynamik einer neuen Situation charakterisiert. Sind die Dynamikänderungen groß oder plötzlich oder wird ein Verhalten ausprobiert, für das man noch keine Kompensationsstrategien besitzt, führt dies zu Kontrollverlust (z.B. Schwanken oder Fallen). Bis zum Wiedererlangen der Kontrolle und damit der Anpassung an veränderte Umweltbedingungen besteht ein Zustand der Haltungsinstabilität.

³ Es gibt noch weitere Erklärungsansätze, so z.B. Bles et al. (1998) als Erweiterung der sensorischen Konflikttheorie und die Gifttheorie von Treisman (1977; für eine Zusammenfassung siehe auch Money, 1990).

⁴ Zu den sensorischen Grundlagen siehe z.B. Birbaumer & Schmidt, 2003, Highstein, Fay & Popper, 2004.

Riccio und Stoffregen nehmen an, dass die Bewegungskrankheit aus einer länger andauernden Instabilität in der Haltungskontrolle resultiert. Instabilität hervorrufende Situationen sind z.B. niederfrequentes Vibrieren, Schwerelosigkeit und eine veränderte Darstellung von Beschleunigung oder Rotation in Simulatoren. Der Theorie zufolge geht Haltungsinstabilität den Symptomen der Motion Sickness voraus und ist auch nötig, um die Symptome hervorzurufen. Je länger man der Instabilität ausgesetzt ist, umso größer wird die Wahrscheinlichkeit für und die Intensität von auftretenden Beschwerden.

Aktuell gibt es keine Theorie, die die Entstehung der Simulator Sickness vollständig erklären kann. Die Ursachen sind bis heute nicht endgültig geklärt. Problematisch ist, dass nicht alle Personen, die gleicher Stimulation ausgesetzt sind, krank werden. Außerdem zeigen sich bei Personen, die simulatorkrank werden, sehr unterschiedliche Symptome, weshalb die Simulatorkrankheit als polysymptomatisch angesehen wird (Kennedy & Fowlkes, 1992). Fragen werden auch dadurch aufgeworfen, dass einige Personen bei einer Simulatorexposition Beschwerden haben, während sie bei wiederholter Exposition beschwerdefrei sind (Kennedy, Hettinger et al., 1990).

Obwohl die sensorische Konflikttheorie die am weitesten akzeptierte Theorie der Simulator Sickness ist, gibt es einige Fakten, die sie nicht erklären kann (siehe hierzu auch Mollenhauer, 2004). Zunächst erlaubt die Theorie keine Vorhersage des Auftretens und der Ausprägung von Simulator Sickness. Weiterhin ist der Theorie zufolge das Fehlen von Reizredundanz ein zentraler prädiktiver Faktor. Dennoch gibt es viele Konstellationen in unserer Umwelt, in denen die sensorischen Signale nicht redundant sind, und die dennoch keine Bewegungskrankheit auslösen. Zusätzlich liefert die Theorie keine Erklärung dafür, warum die Simulator Sickness gerade während der ersten Expositionen auftritt und bei wiederholten Expositionen abgeschwächt oder nicht mehr vorkommt. Letztlich gibt die Theorie keine Antwort auf die Frage, warum der sensorische Konflikt in einer Übelkeitsreaktion endet. Auch die Theorie der Haltungsinstabilität kann dies nicht erklären, auch wenn die Autoren betonen, dass die „Theorie lediglich die Existenz der Symptome erklären soll, nicht aber ihre Natur“ (Riccio & Stoffregen, 1991, S. 206). Im Gegensatz zur sensorischen Konflikttheorie bietet die Theorie der Haltungsinstabilität aber einen Erklärungsansatz für die abnehmenden Beschwerden bei häufiger Exposition über eine differenzierte Wahrnehmung der Situationsdynamik und den Erwerb von Kontrollstrategien.

Insgesamt besteht ein deutlicher Forschungsbedarf bezüglich der sensorischen Grundlagen der Bewegungswahrnehmung bzw. -steuerung und insbesondere zur Frage der multisensorischen Integration (Kemeny & Panerai, 2003). Die Interaktion visueller und vestibulärer Informationen bei der Fahrzeugkontrolle bleibt Gegenstand zukünftiger Forschung. Auf diesem Gebiet kann die Simulation als Untersuchungsumgebung einen wesentlichen Beitrag leisten, indem sie die kontrollierte Variation unterschiedlicher Bewegungsinformationen erlaubt.

2.3 Symptomatik und Verfahren zur Erfassung von Simulator Sickness

2.3.1 Symptomatologie

Die Simulatorkrankheit beinhaltet eine Konstellation von bewegungskrankheitsähnlichen Symptomen. Allerdings unterscheiden sich die dabei auftretenden Symptommuster oder -profile von denen der „echten“ Bewegungskrankheit. Zu den Kardinalsymptomen und -anzeichen der Bewegungskrankheit gehören Übelkeit und Erbrechen als Symptome sowie Blässe und kaltes Schwitzen als Anzeichen (Reason & Brand, 1975). Neben diesen am häufigsten auftretenden Symptomen und Anzeichen gibt es weitere, die nur gelegentlich berichtet oder beobachtet werden. Dazu gehören nach Reason und Brand (1975) erhöhter Speichelfluss, Seufzen, Gähnen, Hyperventilation, gastrische Anzeichen (Aufstoßen und Blähungen), Kopfschmerzen, Kopfdruck, Verwirrung, Angst, Schwächegefühl, Appetitlosigkeit,

Anstieg der Körpertemperatur, Kältegefühl im Gesicht und den Extremitäten, ein Gefühl der Beengtheit im Hals oder auf der Brust und weiterhin Benommenheit oder Schläfrigkeit.

Bei der Simulatorkrankheit sind Erbrechen und Würgen eher selten, während andere offensichtliche Anzeichen wie Blässe, Schwitzen und Speichelfluss üblich sind. Zu den berichteten Hauptsymptomen gehören Übelkeit, Benommenheit, allgemeines Unwohlsein, Apathie, Kopfschmerzen, Desorientierung, Erschöpfung und Ermüdung (Kennedy, Hettinger et al., 1990).

2.3.2 Verfahren zur Erfassung von Kinetose

Die Messung der Motion Sickness – und dies gilt in gleicher Weise für die Erfassung des Ausmaßes der Simulator Sickness – erweist sich nach McCauley und Sharkey (1992) aus den folgenden Gründen als schwierig: die Symptome sind sehr vielfältig, sie sind äußerlich kaum beobachtbar und subjektiv, es bestehen große individuelle Unterschiede in der Symptomatik bzw. Anfälligkeit und die Konstellation der Symptome entwickelt sich über Zeitdauern von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden.

Zur Erfassung der Simulatorkrankheit wurden unterschiedliche Methoden entwickelt. Zu unterscheiden sind dabei drei Hauptgruppen, nämlich Fragebogeninstrumentarien, physiologische Verfahren und Verhaltensmessungen (vor allem Tests zur Haltungsstabilität). Der Schwerpunkt der folgenden Darstellungen liegt auf den subjektiven Verfahren, die mit Abstand am häufigsten Anwendung finden.⁵ Eingegangen wird dabei auf

- den Motion History Questionnaire (MHQ – Kennedy, Lane, Grizzard et al., 2001),
- den Motion Sickness Questionnaire (MSQ – Kennedy & Graybiel, 1965)
- und den Simulator Sickness Questionnaire (SSQ – Kennedy, Lane, Berbaum & Lilienthal, 1993).

2.3.2.1 Motion History Questionnaire (MHQ)

Der MHQ wird eingesetzt, um mit Hilfe von Angaben zur individuellen Erfahrung mit Bewegungsexposition (z.B. Verträglichkeit von Achterbahnfahrten, Auto- und Busfahrten, Fliegen) die Anfälligkeit für die See- und die Flugkrankheit vorherzusagen. Im Laufe der Zeit wurde er immer wieder überarbeitet und weiterentwickelt (z.B. Kennedy, Fowlkes, Berbaum & Lilienthal, 1992; Kennedy, Lane, Grizzard et al., 2001), um auch in anderen Bereichen (z.B. die Vorhersage von Simulator Sickness) einsetzbar zu sein. Wie man im Anhang unter Punkt 8.1 sehen kann, ist der MHQ kein Instrument zur Erhebung von Symptomen der Simulatorkrankheit, sondern erfasst ausschließlich Erfahrungen mit Bewegungsstimuli.

Die ersten Fragebögen zur Motion History (Wendt, 1944; Birren, 1949; zitiert nach Kennedy, Dunlap & Fowlkes, 1990) entstanden bereits in den vierziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Im Laufe der Zeit konnte gezeigt werden, dass mit den Angaben zu bisherigen Erfahrungen in Bewegungssituationen eine Vorhersage auf die Luftkrankheit (Powell, Beach, Smiley & Russell, 1962; zitiert nach Kennedy, Dunlap et al., 1990), die Seekrankheit (z.B. Birren & Fisher, 1947; zitiert nach Kennedy, Dunlap et al., 1990) und auch auf den Ausfall im Pilotentraining (Hutchins & Kennedy, 1965; zitiert nach Kennedy, Dunlap et al., 1990) möglich ist.

Da der MHQ eigentlich für Piloten entwickelt wurde, beziehen sich die zu beantwortenden Fragen auf die bisherige Flugerfahrung, aber auch auf bisherige Seekrankheits- und generelle Übelkeitserlebnisse.

⁵ Nicht näher dargestellt werden Verfahren der Verhaltensmessung (vergleiche hierzu z.B. Thomley, Kennedy & Bittner, 1986; Kennedy, Allgood, Van Hoy & Lilienthal, 1987; Fowlkes, Kennedy & Lilienthal, 1987) und physiologische Methoden (z.B. Harm, 2002, Stout, Toscano & Cowings, 1995)

Weiterhin wird die Selbsteinschätzung zur Anfälligkeit für Bewegungskrankheiten abgefragt. Schließlich ist in tabellarischer Form anzugeben, inwieweit man bestimmte bewegungskrankheitsinduzierende Situationen präferiert (mag ich – neutral – mag ich nicht) sowie ob und – wenn ja, – welche Symptome dabei beobachtet wurden. Der ursprüngliche MHQ war integriert in den Motion Sickness Questionnaire, der im Folgekapitel beschrieben wird.

2.3.2.2 Motion Sickness Questionnaire (MSQ)

1. General discomfort	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
2. Fatigue	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
3. Boredom	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
4. Mental depression	No___ Yes___
5. Drowsiness	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
6. Headache	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
7. "Fullness of the Head"	No___ Yes___
8. Blurred vision	No___ Yes___
9. a. Dizziness with eyes open	No___ Yes___
b. Dizziness with eyes closed	No___ Yes___ Not tried___
10. Vertigo	No___ Yes___
11. a. Salivation increased	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
b. Salivation usual	Yes___ No___
c. Salivation decreased	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
12. Sweating	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
13. Faintness	No___ Yes___
14. Aware of breathing	No___ Yes___
*15. Stomach awareness	No___ Yes___
16. Nausea	None___ Slight___ Moderate___ Severe___
17. Burping	No___ Yes___ No. of times___
18. Loss of appetite	No___ Yes___
19. Increased appetite	No___ Yes___
20. Desire to move bowels	No___ Yes___
21. Vomiting	No___ Yes___ No. of times___
22. Confusion	No___ Yes___
23. Other	

* Stomach awareness is usually used to indicate a feeling of discomfort which is just short of nausea.

Abbildung 2.3-1: Motion Sickness Questionnaire (entnommen aus Kennedy und Graybiel, 1965).

Im Jahr 1965 präsentierten Kennedy und Graybiel den Pensacola Motion Sickness Questionnaire zur Untersuchung der Bewegungskrankheit. Er enthält unter anderem 23 Symptome, die mit Hilfe einer Checkliste bezüglich ihres Vorhandenseins (ja/nein) abgefragt oder auf einer 4-stufigen Skala auf ihren Schweregrad hin (gar nicht, wenig, mittel, schwer) eingestuft werden (Abbildung 2.3-1) Auch dieser wurde im Verlauf der Jahre immer wieder modifiziert und angepasst, so dass er in verschiedenen Versionen mit 25 bis 30 Symptomen vorliegt (Kennedy, Lane et al., 1993). Da einige der Symptome des MSQ nur selten nach einer Simulatorexposition auftreten oder – wenn sie berichtet werden – nur von geringem Ausmaß sind, wurde auf der Grundlage des MSQ speziell für die Simulatorkrankheit der Simulator Sickness Questionnaire entwickelt.

2.3.2.3 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)

2.3.2.3.1 Fragebogenentwicklung

Der SSQ (Kennedy, Lane et al., 1993) ist das bekannteste Verfahren zur Erfassung der Simulator Sickness. Er basiert auf einer Version des MSQ, die 28 unterschiedliche Symptome umfasste (siehe Tabelle 2.3-1). Der zugrunde liegende Datensatz bestand aus N=1119 Paaren von Prä-Post-Messungen, die aus unterschiedlichen Studien an insgesamt zehn verschiedenen Flugsimulatoren stammten. Ein erstes Ziel der Fragebogenentwickler bestand darin, die Symptome unter den 28 verwendeten Symptomen zu identifizieren, die aufgrund der Simulatorexposition zu systematischen Veränderungen des Ausgangszustands führen. Ausgeschlossen wurden zu diesem Zweck Symptome, die

- mit einer geringeren Häufigkeit als 1% auftraten,
- keine Veränderungen in der Häufigkeit oder Schwere zeigten
- sich als irrelevant bzw. unspezifisch erwiesen (z.B. Langeweile).

Insgesamt wurden 12 der 28 Symptome ausgeschlossen. Tabelle 2.3-1 zeigt alle Symptome im Überblick. Grau unterlegt sind die Symptome, die aus dem MSQ in den SSQ aufgenommen wurden.

Tabelle 2.3-1: Symptome des MSQ und SSQ nach Kennedy, Lane et al. (1993).

MSQ Symptom (englisch)	MSQ Symptom (deutsch)	Übernommen in den SSQ	Eliminiert
general discomfort	Allgemeines Unwohlsein	X	
fatigue	Ermüdung	X	
boredom	Langeweile		X
drowsiness	Benommenheit		X
headache	Kopfschmerzen	X	
eyestrain	angestrenzte Augen	X	
difficulty focusing	Schwierigkeiten, scharf zu sehen	X	
increased salivation	erhöhter Speichelfluss	X	
decreased salivation	verminderter Speichelfluss		X
sweating	Schwitzen	X	
nausea	Übelkeit	X	
difficulty concentrating	Konzentrationsschwierigkeiten	X	
depression	Depression		X
fullness of head	Kopfdruck	X	
blurred vision	verschwommene Sicht	X	
dizziness (eyes open)	Schwindel (Augen offen)	X	
dizziness (eyes closed)	Schwindel (Augen zu)	X	
vertigo	Gleichgewichtsstörungen	X	
visual flashbacks	visuelle Flashbacks		X
faintness	Mattigkeit		X
awareness of breathing	bewusstes Atmen		X
stomach awareness	Magen macht sich bemerkbar	X	
decreased appetite	erhöhter Appetit		X
increased appetite	verminderter Appetit		X
desire to move bowels	Wunsch, seine Notdurft zu verrichten		X
confusion	Verwirrung		X
burping	Aufstoßen	X	
vomiting	Erbrechen		X

Zur Identifizierung von Symptomgruppen wurden Faktoranalysen durchgeführt. Aufgrund geringer Symptominzidenzen wurde dafür jedoch nicht der gesamte vorhandene Datenpool verwendet, sondern nur die Daten von etwa 600 Simulatorexpositionen mit höheren Symptominzidenzen aus fünf der zehn untersuchten Flugsimulatoren.

Tabelle 2.3-2: Ladungsmatrix der von Kennedy, Lane et al. (1993) durchgeführten Faktorenanalyse (Hauptachsenanalyse; Varimax-Rotation). Ladungen $> .30$ sind fett hervorgehoben.

SSQ Symptom	Subskalen des SSQ		
	NAUSEA (Übelkeit)	OCULOMOTOR (Okulomotorik)	DISORIENTATION (Desorientierung)
allgemeines Unwohlsein	.65	.40	.18
Ermüdung	.15	.54	-.04
Kopfschmerzen	.22	.53	.15
angestrengte Augen	.00	.74	.17
Schwierigkeiten scharf zu sehen	-.01	.61	.43
erhöhter Speichelfluss	.53	.21	.13
Schwitzen	.31	.24	.08
Übelkeit	.75	.08	.30
Konzentrationsschwierigkeiten	.32	.39	.27
Kopfdruck	.12	.17	.37
Verschwommenes Sehen	.01	.36	.40
Schwindel (Augen offen)	.17	.07	.76
Schwindel (Augen geschlossen)	.17	.09	.65
Gleichgewichtsstörungen	.18	.08	.37
Magen macht sich bemerkbar	.64	.03	.21
Aufstoßen	.41	.04	.22
Eigenwert	2.21	2.11	1.98
% aufgeklärte Varianz	14	13	12

Tabelle 2.3-3: Ladungsmatrix der von Kennedy, Lane et al. (1993) durchgeführten hierarchischen Faktorenanalyse.

SSQ Symptom	General-faktor	hierarchische Faktoren		
		NAUSEA (Übelkeit)	OCULOMOTOR (Okulomotorik)	DISORIENTATION (Desorientierung)
allgemeines Unwohlsein	.64	.38	.22	-.06
Ermüdung	.26	.05	.48	-.12
Kopfschmerzen	.40	.07	.43	.02
angestrengte Augen	.34	-.12	.67	.09
Schwierigkeiten scharf zu sehen	.43	-.15	.52	.32
erhöhter Speichelfluss	.48	.33	.08	-.05
Schwitzen	.32	.18	.15	-.03
Übelkeit	.66	.46	-.11	-.04
Konzentrationsschwierigkeiten	.47	.13	.27	.11
Kopfdruck	.32	-.01	.09	.26
Verschwommenes Sehen	.33	-.11	.29	.31
Schwindel (Augen offen)	.51	-.03	-.06	.58
Schwindel (Augen geschlossen)	.47	-.01	-.03	.49
Gleichgewichtsstörungen	.32	.05	-.01	.25
Magen macht sich bemerkbar	.52	.41	-.12	.00
Aufstoßen	.39	.25	-.07	-.07
Eigenwert	3.15	0.81	1.41	0.95
% aufgeklärte Varianz	20	5	9	6

Bei Durchführung einer Hauptachsenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation brachte die Lösung mit Extraktion von drei Faktoren das deutlichste Ergebnis. Die daraus resultierende Ladungsmatrix ist in der Tabelle 2.3-2 aufgeführt. Faktorladungen $>.3$ wurden von den Autoren als bedeutsam eingestuft. Da die sich ergebende Faktorstruktur nicht ganz eindeutig war, wurden weitergehend hierarchische Faktorenanalysen durchgeführt. Die aus diesen Analysen resultierenden Ladungen für den Generalfaktor und die drei Primärfaktoren sind dargestellt in Tabelle 2.3-3. Insgesamt zeigt diese Lösung eine vergleichbare Struktur wie die Hauptachsenanalyse und VARIMAX-Rotation.

Die drei resultierenden Faktoren – NAUSEA, OCULOMOTOR und DISORIENTATION – beschreiben die Auswirkungen der Simulatorexposition auf verschiedene „Zielsysteme“ im Menschen. Weiterhin bildet jeder Faktor die Basis für eine Subskala des SSQ. Dargestellt sind die drei Subskalen mit den dazu gehörigen Symptomen in Tabelle 2.3-4. Jede Subskala setzt sich aus sieben Symptomen zusammen und beinhaltet Symptome, die in der Hauptachsenanalyse eine Ladung $>.30$ auf einem Faktor aufwiesen (siehe fett hervorgehobene Faktorladungen in Tabelle 2.3-2). Auffällig ist, dass fünf Symptome mehr als einem Faktor zugeordnet sind (z.B. allgemeines Unwohlsein, Übelkeit). Zusätzlich zu den Punktwerten für die Subskalen lässt sich ein Gesamtwert berechnen.

Tabelle 2.3-4: Subskalen des SSQ mit den jeweils dazu gehörenden Symptomen und den Formeln zur Berechnung der Subskalenwerte nach Kennedy, Lane et al. (1993).

NAUSEA/Übelkeit	OCULOMOTOR/Okulomotorik	DISORIENTATION/Desorientierung
allgemeines Unwohlsein	allgemeines Unwohlsein	Schwierigkeiten scharf zu sehen
erhöhter Speichelfluss	Ermüdung	Übelkeit
Schwitzen	Kopfschmerzen	Kopfdruck
Übelkeit	angestrenzte Augen	Verschwommenes Sehen
Konzentrationschwierigkeiten	Schwierigkeiten scharf zu sehen	Schwindel (Augen auf)
Magen macht sich bemerkbar	Konzentrationschwierigkeiten	Schwindel (Augen zu)
Aufstoßen	Verschwommenes Sehen	Gleichgewichtsstörungen
Summe Symptomurteile= ΣN	Summe Symptomurteile= ΣO	Summe Symptomurteile= ΣD
Subskalenwert [N]= $\Sigma N \times 9.54$	Subskalenwert [O]= $\Sigma O \times 7.58$	Subskalenwert [D]= $\Sigma D \times 13.92$

Die 16 Symptome des SSQ werden auf einer vierstufigen Skala eingeschätzt. Der Ausprägungsgrad eines jeden Symptoms wird von dem Probanden direkt nach Verlassen des Simulators als „gar nicht“, „etwas“, „mittel“ oder „stark“⁶ beurteilt. Den Urteilen wird entsprechend in der gleichen Reihenfolge der Zahlenwert „0“, „1“, „2“ bzw. „3“ zugeordnet. Die letzte Zeile der Tabelle 2.3-4 enthält die Formeln zur Berechnung der Subskalenwerte. Den Punktwert für eine Subskala erhält man, indem die Zahlenwerte der entsprechenden Symptomurteile pro Faktor aufsummiert (z.B. ΣN beim Faktor NAUSEA) und mit dem jeweiligen Skalengewicht (z.B. 9.54 beim Faktor NAUSEA) multipliziert werden. Für den Gesamtwert, der als TOTAL SCORE bezeichnet wird, werden die Subskalenwerte addiert und mit dem Gewichtungsfaktor 3.74 multipliziert:

$$\text{TOTAL SCORE [TS]} = ([N] + [O] + [D]) \times 3.74 .$$

Die Skalengewichte des SSQ wurden auf der Basis der Daten der Flugsimulatoren-„Eichstichprobe“ so bestimmt, dass alle Subskalen und auch der TOTAL SCORE eine Standardabweichung von 15 Skaleneinheiten und damit eine vergleichbare Streuung aufweisen. Die Multiplikation mit den Skalengewichten stellt sicher, dass der Nullpunkt aller Skalen gleich ist. Da Nullpunkt und Standardabweichung somit festgelegt sind, ergeben sich unterschiedliche Skalenmitten bei den einzelnen Subskalen und auch beim TOTAL SCORE.

In Tabelle 2.3-5 finden sich im oberen Teil die von Kennedy, Lane et al. (1993, S.214) angegebenen 75%- und 99%-Perzentile der untersuchten fliegerischen Stichprobe. Die entsprechenden Rohwert-

⁶ im Original ‚none‘; ‚slight‘; ‚moderate‘ and ‚severe‘ (nach Kennedy, Lane et al., 1993).

summen im unteren Teil der Tabelle ergeben sich durch Division der Scores durch die jeweiligen Skalengewichte. Aus der Betrachtung der Perzentile wird deutlich, welche Stichprobenvarianz der Skalenkonstruktion zugrunde lag und welche Probleme in den Flugsimulatoren vor allem vorherrschten: Am häufigsten vertreten sind okulomotorische Beschwerden gefolgt von Übelkeit. Bei 75% der Piloten in der Stichprobe zeigte sich kein einziges Symptom der DISORIENTATION-Skala. Dies erklärt auch, warum diese Skala das größte Skalengewicht erhielt.

Tabelle 2.3-5: 75%- und 99%-Perzentile der SSQ-Skalenscores der Stichprobe, auf der die Skalenkonstruktion des SSQ beruht (Werte entnommen aus Kennedy, Lane et al, 1993), sowie die anhand einer Division durch das jeweilige Skalengewicht erhaltenen Rohwertsummen.

	NAUSEA	OCULOMOTOR	DISORIENTATION
75%-Perzentil	9.5	15.2	0.00
99%-Perzentil	66.8	60.7	83.5
	NAUSEA/9.54	OCULOMOTOR/7.58	DISORIENTATION/13.92
75%-Perzentil	1.00	2.01	0.00
99%-Perzentil	7.00	8.01	6.00

2.3.2.3.2 Zur Anwendung des SSQ

Kennedy, Lane et al. (1993) empfehlen ein Screening der Simulationsteilnehmer, so dass gesundheitlich angeschlagene Personen („sick or in other than their usual state of fitness“, S. 206) ausgeschlossen werden. Eine Berechnung der einzelnen SSQ-Skalenwerte ist nur bei gesunden Personen und weiterhin für post-Expositionsdaten vorgesehen. Bei einem Score >15 soll ein Arzt aufgesucht oder eine Information über mögliche Risiken und Nachwirkungen erfolgen (Kennedy, Lane et al., 1992). Bei einem Score >20 soll die entsprechende Person auf ihren Zustand aufmerksam gemacht werden und unter weiterer Beobachtung verbleiben.

Die an der Eichstichprobe der Piloten gewonnenen SSQ-Scores (siehe Abbildung 2.3-2) dienen nach Kennedy, Lane et al. (1993) der vergleichenden Bewertung unterschiedlicher Simulatoren. Sie können weiterhin dazu herangezogen werden, um Änderungen im Trainingsmodus (z.B. Zeitabstände zwischen Trainingseinheiten, Trainingslänge) zu beobachten und zu beurteilen.

SSQ Scale Means by Simulator for the Calibration Sample					
<i>Simulator</i>	<i>Aircraft</i>	<i>SSQ Scale M</i>			
		<i>N</i>	<i>O</i>	<i>D</i>	<i>TS^a</i>
2F64C	SH-3	14.7	20.0	12.4	18.8
2F120	CH-53E	7.5	10.5	7.4	10.0
2F121	CH-53D	7.2	7.2	4.0	7.5
2F110	E-2C	7.1	13.1	6.8	10.3
2E7	F/A-18	6.1	5.1	6.2	6.8
2F117	CH-46E	5.4	7.8	4.5	7.0
2F87F	P-3C	4.5	15.2	4.3	10.5
2F132	F/A-18	2.7	6.1	0.6	4.2
2F112	F-14	1.7	1.8	0.0	1.5
M		7.7	10.6	6.4	9.8
SD		15.0	15.0	15.0	15.0

^aTotal Severity.

Abbildung 2.3-2: Mittlere SSQ-Skalenwerte für die zehn untersuchten Flugsimulatoren der SSQ-Eichstichprobe (entnommen aus Kennedy, Lane et al., 1993).

Dabei ermöglicht der TOTAL SCORE eine globale Einschätzung des Ausmaßes des Simulatorkrankheitsproblems. Die Erhebung der Subskalenwerte soll es weiterhin erlauben, Modifikationen technischer Eigenschaften des Simulationssystems zu beobachten (Kennedy, Lane et al., 1993) sowie mögliche technische Defizite in Teilsystemen aufzudecken (Drexler, Kennedy & Compton, 2004). So sollen z.B. hohe Werte auf der OCULOMOTOR-Skala bei einer ausreichend großen Stichprobe auf Probleme hinweisen, die durch technische Eigenschaften des Sichtsystems verursacht werden (siehe Abbildung 2.3-3).

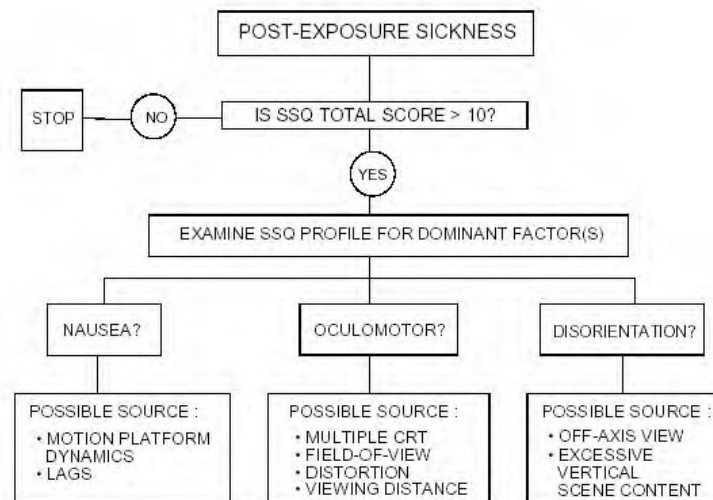


Abbildung 2.3-3: Modellvorschlag zur Bewertung möglicher technischer Defizite im Simulationssystem mit Hilfe des SSQ (entnommen aus Drexler et al., 2004).

2.3.3 Inzidenzen und Nachwirkungen der Simulator Sickness

2.3.3.1 Inzidenzen

Es ist schwierig, die Anfälligkeit für die Simulatorkrankheit zu schätzen. Inzidenzen variieren in Abhängigkeit vom Stimulus (z.B. Häufigkeit, Dauer), der Person, die dem Stimulus ausgesetzt wird (z.B. Anfälligkeit, Erfahrung), und den verwendeten Messkriterien (Lawson, Graeber, Mead & Muth, 2002). Es ist aber davon auszugehen, dass jeder, der über ein intaktes vestibuläres System verfügt, bewegungskrank werden kann, wenn er der entsprechenden provokativen Situation ausgesetzt wird, wobei es große individuelle Unterschiede im Ausmaß der Anfälligkeit gibt (Reason & Brand, 1975).

In einer Studie von Ungs (1988) berichteten 64.3% der insgesamt befragten Piloten (n=238) mindestens ein Symptom der Simulatorkrankheit nach einem Trainingsflug im Simulator. Das dabei am häufigsten genannte Symptom war Ermüdung (33.6%). Kennedy, Lilienthal et al. (1989) analysierten Daten aus zehn Flugsimulatoren der US Navy. Die Simulatorkrankheitsinzidenzen der zehn unterschiedlichen Standorte lagen zwischen 10% und 60%. Bei insgesamt n=1186 Piloten zeigte sich kaum Erbrechen oder Würgen (0.2%), aber Übelkeit (10%) sowie angestrenzte Augen (25%) und Benommenheit (26%). Kennedy, Massey & Lilienthal (1995) identifizierten die Symptome Benommenheit und Ermüdung als die am meisten genannten Symptome, die nach dem Training in Flugsimulatoren auftreten. Zwischen 30% und 50% der befragten Personen aus einem Datenpool von etwa n=6000 Expositionen berichteten Ermüdung oder Benommenheit bzw. beides am Ende des Trainings.

Stanney, Kingdon & Kennedy (2002) untersuchten Probanden, die sich in einem über ein Head Mounted Display dargebotenen Labyrinth fortbewegen und verschiedene Aufgaben bewältigen mussten. Insgesamt 88% der Probanden berichteten direkt nach der Exposition mindestens ein Symptom. Die Vielfalt der Beschwerden reichte von leichten Kopfschmerzen bis hin zu Erbrechen und auch schweren Gleichgewichtsstörungen. Okulomotorische Störungen berichteten 79% der Probanden, Übelkeit gaben 71% an und Erbrechen trat bei 1.1% der Studienteilnehmer auf. Immerhin 133 der insgesamt 1097 Probanden brachen die Exposition vorzeitig ab. Bei diesen betrug die durchschnittliche in der virtuellen Realität verbrachte Zeit bis zum selbst bestimmten Abbruch 24 Minuten ($sd=13.6$) mit einem Minimum von 3 Minuten und einem Maximum von 59 Minuten. Die meisten Abbrüche (50.7%) ereigneten sich innerhalb der ersten 20 Minuten der Exposition. Dabei stiegen die Ausfallraten mit zunehmender Exposition an. Von den insgesamt $n=133$ Abbrechern beendeten 16.7% die Exposition nach 15 Minuten, 17.4% nach 30 Minuten, 33.1% nach 45 Minuten und 42.8% nach 60 Minuten.

Angaben zu einzelnen SSQ-Skalen in Fahrsimulatoren finden sich bei Drexler et al. (2004). Vergleichend analysiert wurden die Symptomprofile von Flug- und Fahrsimulatoren. Bei den untersuchten Flugsimulatoren finden sich durchgängig höhere Ausprägungen auf der Subskala OCULOMOTOR und eher gering ausgeprägte Übelkeits- und Desorientierungsskalenwerte ($O>N>D$; siehe Abbildung 2.3-4).

Bei allen drei Fahrsimulatoren – von denen allein der VIRTEX über ein Bewegungssystem verfügt – erweist sich die Desorientierung (D) als am stärksten ausgeprägt. Für den VIRTEX- und den FDS-Simulator zeigen sich ähnliche Profilverläufe ($D>O>N$). Im UCF-Simulator hingegen treten mehr Übelkeitssymptome als okulomotorische auf ($D>N>O$). Im Vergleich zu den berichteten Scores aus den Flugsimulatoren sind vor allem die Skalenwerte des FDS deutlich erhöht.

Die resultierenden Profile entsprachen nicht den Hypothesen der Autoren. Erwartet wurden höhere Werte der Übelkeitsskala (N) im Simulator mit Bewegungssystem (VIRTEX). Es zeigte sich jedoch ein gegenteiliges Ergebnis: die Ausprägungen auf der Übelkeitssubskala waren signifikant größer im FDS und etwas höher für den UCF.

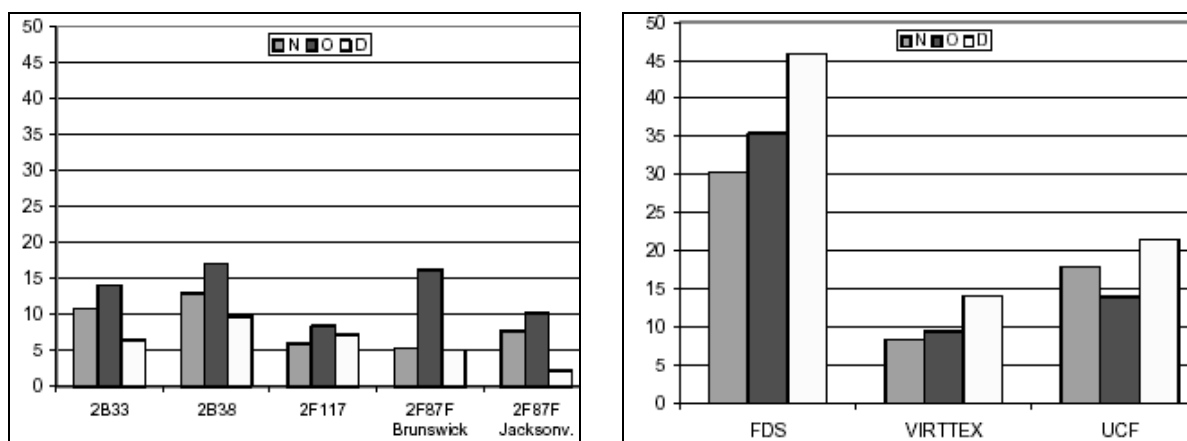


Abbildung 2.3-4: Mittlere SSQ-Symptomprofile der untersuchten Flugsimulatoren 2B33, 2B38, 2F117, 2F87F (links) und der Fahrsimulatoren FDS, VIRTEX und UCF (rechts). Bezeichnung der Subskalen: Übelkeit (N – Nausea), Okulomotorik (O – Oculomotor) und Desorientierung (D – Disorientation). Die Ordinate zeigt die Punktwerteskala des SSQ (Abbildungen entnommen aus Drexler et al., 2004).

Ein Beleg der diagnostischen Validität der Subskalen für spezifische Simulatorprobleme konnte bislang nicht schlüssig erbracht werden. Es ist außerdem darauf hinzuweisen, dass in der Studie von Drexler et al. (2004) die Expositionsdauer und die Art der Fahraufgabe nicht kontrolliert wurden. Insofern ist das Ergebnis wenig aussagekräftig.

2.3.3.2 Symptombdauer/Nachwirkungen

Neben den akuten Krankheitsbeschwerden können lang andauernde oder erst später einsetzende Nachwirkungen ein Problem darstellen. Länger andauernde Symptome nach der Simulatorexposition sind vor allem für das Pilotentraining der US Army dokumentiert. In einem Übersichtsartikel analysierten Baltzley et al. (1989) Daten aus elf Flugsimulatoren und erfassten Nachwirkungssymptome mit Hilfe des Motion Sickness Questionnaire (MSQ). Die Inzidenzen der Nachwirkungen reichten von 6%-62% bei den verschiedenen Simulatoren (siehe Tabelle 2.3-6). Von den n=334 Piloten, die nach dem Training Symptome berichteten, verschwanden bei 75% die Symptome in weniger als einer Stunde nach dem Training. Jedoch berichteten auch 8% der Piloten, dass die Symptome sechs Stunden und länger andauerten.

Tabelle 2.3-6: Häufigkeiten und Dauer der Nachwirkungen in elf Flugsimulatoren (Angaben entnommen aus Baltzley et al., 1989).

Simulator/ Flugzeugtyp	n _{gesamt}	Inzidenzen (Häufigkeiten)		Nachwirkungsdauer (Stunden)				
		absolut	%	0-1	1.1-2	2.1-4	4.1-6	>6.1
2F117/CH-46	176	85	48	64	3	5	4	9
2B40/AH-64	130	65	50	44	8	3	4	6
2F120/CH-33	121	66	55	52	4	4	3	3
2F64C/SH-3	98	56	57	39	4	4	3	6
2F87F(J)/P-3C	69	4	6	4	0	0	0	0
2F87F(B)/P-3C	51	11	22	10	0	0	0	1
2E7/WTT	45	25	56	19	0	3	2	1
2F112/FA-18	22	10	45	9	0	1	0	0
2F110/E-2C	13	8	62	5	1	0	0	2
2E6/ACMS	10	3	30	3	0	0	0	0
2F132/FA-18	7	1	14	1	0	0	0	0
Total	742	334	45	250 (75%)	20 (6%)	20 (6%)	16 (5%)	28 (8%)

Des Weiteren wurden die berichteten Beschwerden Symptommustern ähnlich denen des SSQ zugeordnet. Die Nachwirkungen fielen hauptsächlich in das NAUSEA-Symptommuster (51%), zu dem Symptome wie „Übelkeit“, „Magen macht sich bemerkbar“ und „Aufstoßen“ gehören. Symptome wie „Schwindel“ und „Gleichgewichtsstörungen“ sind Teil des DISORIENTATION-Symptommusters und machten 28% der berichteten Symptome aus. Zu 21% handelte es sich bei den Nachwirkungen um Symptome wie „verschwommenes Sehen“, „angestrengte Augen“, „Kopfschmerzen“ und „Schwierigkeiten, scharf zu sehen“, die dem VISUOMOTORISCHEN Symptommuster⁷ zugeordnet werden.

Ungs (1989) berichtet sogar Nachwirkungen, die länger als 24 Stunden nach dem Flugtraining andauerten. Bei neun von n=196 Piloten zeigten sich derart lang anhaltende Nachwirkungen. Die berichteten Symptome waren „visuelle Flashbacks“ oder „Verzerrungen“, „ein anhaltendes Gefühl der Realitätsferne“ („continued sense of detachment from reality“), „Störungen des Gleichgewichts“ und der „Augen-Hand-Koordination“ sowie anhaltende „Konzentrations-“ und „Schlafstörungen“. Die befragten Piloten berichteten eines dieser Symptome oder eine Kombination mehrerer Symptome.

Stanney et al. (2002) dokumentierten ebenfalls bis zu 24 Stunden andauernde Nachwirkungen nach der Exposition an einer virtuellen Realität mittels Head Mounted Display. Sie erhoben getrennt für die Probanden, die die Exposition vorzeitig abbrachen, und diejenigen, die alle Aufgaben vollständig in

⁷ Dieses Symptommuster ähnelt dem OCULOMOTOR-Symptomprofil des SSQ.

der virtuellen Welt durchführten, anhaltende Nachwirkungen mit Hilfe der SSQ-Skalen zu festgelegten Zeitpunkten nach der Exposition (siehe Tabelle 2.3-7).

Tabelle 2.3-7: Berichtete SSQ-Skalenscores getrennt für die Abbrecher (A) und die Nicht-Abbrecher (N) der virtuellen Realitätsexposition mittels Head Mounted Display direkt vor bzw. nach der Exposition (jeweils n=116 pro Gruppe) sowie für die Nachwirkungen (jeweils n=52 pro Gruppe), die 2-4 Stunden, nach 4 Stunden und 24 Stunden später erhoben wurden (Werte entnommen aus Stanney et al., 2002).

	NAUSEA		OCULOMOTOR		DISORIENTATION		TOTAL SCORE	
	A	N	A	N	A	N	A	N
vor	2.47	2.18	2.88	2.39	0.12	0.24	2.42	2.10
nach	55.84	21.93	35.81	17.82	68.52	23.69	57.97	23.75
2-4 h	17.84	8.78	19.37	8.79	18.04	5.01	21.40	9.13
> 4 h	9.72	2.29	11.23	7.58	7.73	3.34	11.43	5.54
~ 24 h	5.14	4.77	7.14	10.35	5.89	5.09	7.12	8.34

Studien zu Nachwirkungen nach dem Training in Fahrsimulatoren sind nur sehr spärlich vorhanden. Mögliche Nachwirkungen wurden berücksichtigt in einer Fahrsimulationsstudie von Hoffman, Molino und Inman (2003), waren aber nicht Gegenstand der Untersuchung. Das Turner-Fairbank Highway Research Institute, an dem die Untersuchung durchgeführt wurde, stellt in diesem Artikel kurz die Vorgehensweisen im Umgang mit der Simulator Sickness vor. Demnach sollen bei jeder Simulatoruntersuchung der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) und ein Haltungstest (Sharpened Romberg Postural Stability Test; Fregly & Graybiel, 1968) jeweils vor und nach der Simulatorexposition eingesetzt werden. Beide Tests werden auch nach der Exposition etwa alle 20 bis 30 Minuten durchgeführt und zwar solange bis die Probanden die gleichen Werte wie vor der Exposition erreicht haben oder bis zwei Stunden vergangen sind. Dauern die Beschwerden länger als zwei Stunden an, wird der Proband in einem Taxi nach Hause gefahren und später per Telefon zum Befinden befragt. Die auftretenden Nachwirkungen werden in dem Artikel nicht weiter beschrieben.

Watson (1998) untersuchte in einem Fahrsimulator mit Bewegungsplattform die Wirksamkeit einer fünfminütigen Einführungsfahrt mit hoch intensiven Manövern (z.B. extensives Bremsen, 90-Grad Kurven) zur Erleichterung der Adaptation an Simulatorkrankheitsbeschwerden für eine darauf folgende 17-minütige Fahrt, die ebenfalls sehr intensive Manöver beinhaltete. Weiterhin wurde die Dauer zwischen den zwei Fahrten variiert (1, 2, 3 oder 18 Tage), um die optimale Zeit zu ermitteln, die zwischen Simulatorexpositionen liegen sollte, damit die Simulatorkrankheit effektiv reduziert werden kann. Auftretende Beschwerden wurden mit dem SSQ erfasst. Im Ergebnis zeigte sich tatsächlich eine Reduktion der SSQ-Scores auf den Skalen NAUSEA, DISORIENTATION und TOTAL SCORE von der kurzen Einführungsfahrt zur längeren zweiten Simulatorfahrt (siehe Tabelle 2.3-8). Die deutlichste Reduktion fand sich bei der DISORIENTATION-Skala. Abbildung 2.3-5 zeigt die DISORIENTATION-Scores für die einzelnen Gruppen, die die zwei Fahrten jeweils mit 1, 2, 3 oder 18 Tagen Abstand durchführten. In der Gruppe mit 18 Tagen Abstand zwischen den Fahrten stiegen die Werte von der ersten zur zweiten Fahrt wieder an, während in den anderen drei Gruppen jeweils eine Abnahme der Scores zu beobachten war.

Mit Hilfe des Survey of Post-Simulator Experience (PSSQ; Watson, 1998) wurden mögliche Nachwirkungen erfasst. Der PSSQ enthält Symptome, die unter anderem dem SSQ entnommen sind. Die Verwendung der vierstufigen Likert-Skala von Kennedy, Lane et al. (1993) ermöglicht eine Skalenergebnisberechnung analog zur Vorgehensweise des SSQ. Die Probanden beurteilten die Ausprägung der Nachwirkungen (gar nicht, etwas, mittel, stark) in den ersten zehn Stunden nach der Simulatorfahrt jede Stunde, in den folgenden 14 Stunden alle zwei Stunden und für den Zeitraum von 24 bis 48 Stunden nach der Simulatorexposition alle acht Stunden. Die daraus berechneten Scores wurden über den Beobachtungszeitraum von 48 Stunden kumuliert. In der Gruppe mit nur einem Tag zwischen beiden Fahrten konnten so die Nachwirkungen nach der Einführungsfahrt nur für 24 Stunden erhoben werden. Abbildung 2.3-5 (rechts) zeigt die in der Studie ermittelten PSSQ-Scores.

Tabelle 2.3-8: Berichtete mittlere SSQ-Scores in der Studie von Watson (1998).

SSQ-Score	5-Minuten-Fahrt	17-Minuten-Fahrt
Total Score	59.51	51.59
Nausea	57.11	48.57
Disorientation	74.44	58.94

In den Gruppen mit jeweils 2, 3 oder 18 Tagen zwischen beiden Fahrten war der PSSQ-Score nach der zweiten Fahrt jeweils geringer als in der Einführungsfahrt. Bei denjenigen mit nur einem Tag Abstand zwischen den zwei Fahrten erhöhten sich die Nachwirkungen nach der zweiten Fahrt deutlich im Vergleich zur Einführungsfahrt. Watson empfiehlt auf der Basis dieser Ergebnisse 48-72 Stunden Abstand zwischen Simulatorfahrten, um sowohl die unmittelbaren als auch die längerfristigen Simulatorkrankheitsbeschwerden zu reduzieren.

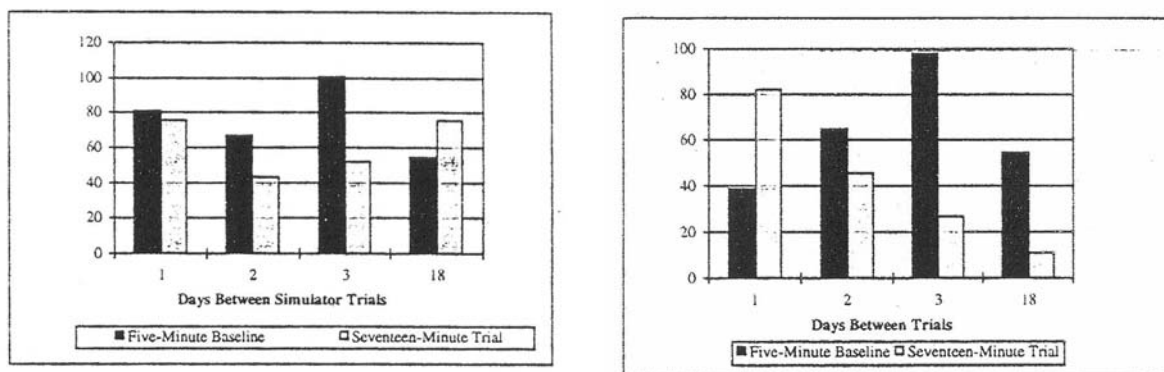


Abbildung 2.3-5: Mittlere D-Scores direkt nach Simulatorexposition (links) und mittlere PSSQ-Scores als Nachwirkungen der Simulatorfahrten (rechts; Grafiken entnommen aus Watson, 1998).

Die Auswirkungen von anhaltenden Beschwerden nach Simulatorexpositionen sollten nicht unterschätzt werden (Baltzley et al., 1989). Nachwirkungen können die nachfolgend ausgeübten Tätigkeiten (z.B. Auto fahren, Arbeiten) beeinträchtigen. Sicherheitsrisiken sind besonders bei solchen Personen möglich, die andauernde Symptome wie Schwindel und Gleichgewichtsstörungen aufweisen (Baltzley et al., 1989). In den „Richtlinien zur Verminderung der Simulator Sickness“ (Kennedy, Berbaum et al., 1987) werden die Fluglehrer angewiesen, darauf zu achten, dass die Piloten genügend Zeit haben, sich von eventuellen Symptomen zu erholen, bevor sie anderen Tätigkeiten nachgehen sowie sicherzustellen, dass kein Pilot mit Gleichgewichtsstörungen Auto fährt. Ein weiteres Problem betrifft Nachwirkungen von Symptomen, die mit Ermüdungserscheinungen zu tun haben, wie Schläfrigkeit, Benommenheit und Müdigkeit (Kennedy et al., 1995). Die Autoren warnen vor verschlechterten Vigilanzleistungen nach Simulatorexposition.

2.3.4 Einflussfaktoren und Prädiktion

Eine Vielzahl von Studien weist auf, dass die Simulatorkrankheit nicht auf eine einzige Ursache zurück zu führen ist, sondern eine große Zahl unterschiedlicher Faktoren zu ihrem Auftreten beiträgt. Kennedy und Fowlkes (1992) bezeichneten aus diesem Grund die Simulator Sickness als polygen. Kolasinski (1995) unterscheidet in einem Überblicksartikel zu den relevanten Einflussgrößen zwischen:

- individuellen Faktoren
- simulatorbedingten Faktoren
- aufgaben-/übungsbedingten Faktoren.

Die Autorin führt in einer Literaturanalyse etwa 40 Faktoren an (siehe Tabelle 2.3-9), die Einfluss auf das Auftreten, die zeitliche Erstreckung und die Schwere der Simulatorkrankheit nehmen können. Die genannten Einflussfaktoren gelten nicht explizit für die Fahrsimulation, sondern eher für die Flugsimulation und den so genannten „Cyberspace“. Hinter diesem zuletzt genannten Begriff verbirgt sich die Simulation virtueller Realitäten mit Hilfe von Head Mounted Displays, Datenhandschuhen und 3-D-Mäusen. Viele dieser Einflussgrößen sind auf die Fahrsimulation übertragbar. Der Wissensstand über diese Faktoren ist stark abhängig von der Weiterentwicklung der benötigten Computersysteme, entsprechender Software und neuen Erkenntnissen bezüglich des Verständnisses von menschlicher Wahrnehmung und Verhalten in virtuellen Realitäten. Aufgrund dessen liegen inzwischen für einige der von Kolasinski genannten Faktoren auch neuere Forschungsergebnisse vor. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den Ausführungen von Kolasinski, beschränken sich dabei aber auf die für die Fahrsimulation relevanten Einflussfaktoren und werden durch Ergebnisse eigener Literaturrecherchen ergänzt.

Tabelle 2.3-9: Einflussfaktoren auf die Simulatorkrankheit (in Anlehnung an Kolasinski, 1995).

Individuelle Faktoren	Simulatorbedingte Faktoren	Aufgabenbedingte Faktoren
Alter	Kalibrierung	Ausmaß der Kontrolle
Geschlecht	Sichtfeld	Dauer der Exposition
Disposition	Sichtposition (viewing region)	Kopfbewegungen
Konzentration	Szenariinhalt	Beschleunigung
Ethnische Zugehörigkeit	Leuchtstoffverzögerungen	Höhe über Grund
Erfahrung mit Realaufgabe	Wiederholungsrate	illusorische Eigenbewegung
Simulatorerfahrung	Flimmern	Eigenbewegungsgeschwindigkeit
Flimmerverschmelzungsfrequenz	Helligkeit	Fortbewegungsart
Fähigkeit zur mentalen Rotation	mit/ohne Bewegungsplattform	ungewohnte Manöver
Perzeptionsstil	Farbe	Anwendungsart
Haltungsstabilität	Kontrast	Sitzen vs. Stehen
Gesundheitszustand	Bildwiederholungsrate	globales Muster optischen Fließens
Persönlichkeitseigenschaften	Zeitverzögerung	
	stereo-/monoskopische Displays	
	Bildschirmauflösung	
	interpupilläre Distanz	
	Fehler bei der Positionserkennung	

2.3.4.1 Individuelle Faktoren

Die Anfälligkeit für Simulator Sickness ist individuell verschieden. Zu den diesbezüglich diskutierten Faktoren gehören: Geschlecht, Alter, Disposition, Erfahrung mit der Realaufgabe, Simulatorerfahrung, Konzentrationsleistung, Ethnische Zugehörigkeit, Flimmerverschmelzungsfrequenz, Fähigkeit zur mentalen Rotation, Perzeptionsstil, Haltungsverstabilität sowie Gesundheitszustand und Persönlichkeitseigenschaften. Diese werden im Folgenden einzeln dargestellt.

Obgleich sich Frauen und Männer im Hinblick auf die sensorische Reaktion auf Bewegungsreize nicht unterscheiden (Reason & Brand, 1975), scheinen Frauen anfälliger für Bewegungskrankheiten zu sein. Eine mögliche Erklärung für diesen **Geschlechtsunterschied** ist, dass Männer die Symptome der Simulatorerkrankung seltener zugeben als Frauen (Biocca, 1992).

Die Anfälligkeit für Bewegungskrankheiten ist im **Alter** zwischen 2 und 12 am größten, im weiteren Verlauf sinkt sie kontinuierlich ab – in der Altersspanne zwischen 12 und 21 schnell, später langsamer. Selten tritt eine Form der Bewegungskrankheit bei Menschen auf, die älter als 50 Jahre sind (Reason & Brand, 1975).

In einer Vielzahl von Studien wurde versucht, aus einer individuellen **Disposition** (habituelle Empfindlichkeit bei Bewegungsexposition) das Auftreten von Kinetose in spezifischen Situationen zu prädictieren. Wie bereits in Abschnitt 2.3.2.1 dargestellt, findet hierbei insbesondere der MHQ Anwendung. Er eignet sich zur Vorhersage der Seekrankheit, der Luftkrankheit und der Nachwirkungen, die in Simulatoren auftreten (Kennedy, Lane, Grizzard et al., 2001). Insbesondere bei der Auswahl von Flug- und Marinepersonal ist die Prädiktion aufgrund der individuellen Disposition schon sehr lange von Bedeutung (z.B. Smith, 1982; Lin & Reschke, 1987; Allgood, 1993, zu methodischen Aspekten der Prädiktion siehe Kennedy, Dunlap et al., 1990).

Zur Vorhersage von Kinetosebeschwerden im Bereich der Fahrsimulation liegen bislang kaum Studien vor. Watson (2000) fasst in einem Überblicksartikel mehrere im National Advanced Driving Simulator (NADS) an der Universität von Iowa durchgeführte Fahrsimulationsstudien zusammen. Der NADS ist mit einer Bewegungsplattform und einem Sichtfeld von 190° horizontal und 40° vertikal ausgestattet. In diesen Studien wurden unter anderem der MHQ und der SSQ eingesetzt. Obwohl die Korrelation zwischen SSQ und MHQ in allen Untersuchungen bei jeder Studie signifikant von Null verschieden war (Korrelationen zwischen .39 und .61), zeigten die r^2 Werte (.17, .11, .15 und .37), dass der MHQ als alleiniger Prädiktor zur Vorhersage der Simulatorerkrankung nicht geeignet ist. Weiterhin erwies sich der MHQ als nicht brauchbar zur Vorhersage von Fahrabbrüchen (r^2 zwischen .02 und .16).

Das Alter steht in Zusammenhang mit einem weiteren Faktor – der **Erfahrung mit der Realaufgabe**. Dieser Einflussfaktor spielt eine wichtige Rolle bei der sensorischen Konflikttheorie zur Erklärung der Simulatorerkrankung. Die bei dieser Theorie angenommenen Erwartungen des sensorischen Systems resultieren aus früheren Erfahrungen und unterliegen einem Lernprozess (Reason & Brand, 1975). Die Befunde zur Erfahrung mit der Realaufgabe sind jedoch inkonsistent (Kennedy, Hettinger et al., 1990). Es wurde oft (aber nicht nur, z.B. Unga, 1988) beobachtet, dass sich bei Piloten mit vielen Flugstunden und wenig Simulatorstunden eine erhöhte Inzidenz der Simulatorerkrankung findet verglichen mit Piloten, die wenig Flugstunden absolviert haben (Kennedy, Berbaum et al., 1987). Kennedy, Hettinger et al. (1990) nehmen an, dass eine ausgeprägte Realerfahrung (=viele Flugstunden) zu einer erhöhten Wahrnehmung von und Sensitivität gegenüber Diskrepanzen zwischen realem und simuliertem Flug führen kann, die sich dann wiederum in der Entwicklung von Simulatorerkrankungssymptomen äußern kann. Pausch, Crea und Conway (1992) schlagen als Erklärung zwei andere Möglichkeiten vor. Die erste Möglichkeit betrifft das Ausmaß der Kontrolle über die Aufgabe, und die zweite hängt mit der optimalen Sichtposition zusammen (auf diese Faktoren wird unter Punkt 2.3.4.3 bzw. Punkt 2.3.4.2 noch näher eingegangen). Generell sind auch Prozesse der Selbstselektion vor der Ergriffung des Berufes in Betracht zu ziehen (Kennedy, Hettinger et al., 1990). Demnach schlagen bewegungsempfindliche Personen eher selten eine fliegerische Laufbahn ein.

Vermehrte **Simulatorerfahrung** führt bei Piloten zu einer besseren Anpassung und damit auch zu abnehmenden Beschwerden und einer geringeren Inzidenz der Simulator Sickness (Uliano, Lambert, Kennedy & Sheppard, 1986). Die Reduktion der Simulatorkrankheitssymptome mit zunehmender Anzahl der Simulatorstunden wird auf Mechanismen zunehmender Adaptation an und Toleranz gegenüber simulatorkrankheitsinduzierenden Stimuli zurückgeführt. Dennoch können Simulationsanwender unter Umständen bestimmte Strategien entwickeln (z.B. Einschränkung von Kopfbewegungen und Instrumentenbeobachtung), um auftretende Beschwerden zu verringern. Diese Strategien sind kontraproduktiv bezüglich der gewünschten Trainingsziele und interferieren mit einem positiven Trainingstransfer von der simulierten auf die reale Situation (Kennedy, Lane et al., 1992).

Bezüglich der durch die Aufgabe geforderten **Konzentrationsleistung** ergibt sich ein negativer Zusammenhang zwischen dem Grad der Aufmerksamkeit und der Schwere der Simulatorkrankheit dahingehend, dass erhöhte Konzentration mit geringerer Simulatorkrankheit einhergeht (Regan & Price, 1993; zitiert nach Kolasinski, 1995). Die Untersuchung von Regan und Price (1993) beinhaltete das Manipulieren von Objekten mit Hilfe einer 3D-Maus in einer virtuellen Umgebung. Obwohl dieser Faktor sich in diesem Zusammenhang eher auf virtuelle Realitäten bezieht, ist er erwähnenswert, da er möglicherweise auch für die Fahrsimulation gilt.

In Hinblick auf die **ethnische Zugehörigkeit** zeigte sich bei Asiaten im Vergleich zu in Amerika aufgewachsenen Europäern und Afroamerikanern eine erhöhte Anfälligkeit für visuell induzierte Bewegungskrankheitsbeschwerden, die möglicherweise auf Umweltfaktoren und genetische Unterschiede in der zentralnervösen Katecholamin-Ausschüttung zurückgeführt werden können (Stern, Hu, LeBlanc & Koch, 1993).

Die **Flimmerverschmelzungsfrequenz** (FVF; siehe hierzu auch Punkt 2.3.4.2) bezeichnet die individuelle Reizschwelle, ab der Flimmern visuell wahrgenommen wird. Die FVF ist am Tag erhöht und bei Nacht vermindert (Grandjean, 1988; zitiert nach Kolasinski, 1995).

Da die **Raumvorstellung** Vorbedingung für die räumliche Orientierung im Simulator ist, wurden Zusammenhänge zwischen der individuellen Fähigkeit zur mentalen Rotation und der Anfälligkeit für Simulatorkrankheit untersucht. Bei Personen mit einem guten räumlichen Vorstellungsvermögen oder zahlreichen Erfahrungen mit räumlichen Aufgabenstellungen ergeben sich geringere Auftretensraten von Simulator Sickness (Parker & Harm, 1992).

Der **Perzeptionsstil** (Feldabhängigkeit/Feldunabhängigkeit) ist ein Konstrukt aus der Wahrnehmungs- und Persönlichkeitspsychologie und bezeichnet – vereinfacht ausgedrückt – den Grad der Beeinflussbarkeit durch Umweltvariablen. Studien bezüglich dieses Konstrukts erbringen insgesamt keine einheitlichen Ergebnisse: je nach zugrunde liegender Untersuchung werden sowohl bei feldabhängigen als auch bei feldunabhängigen Personen höhere Auftretensraten von Simulatorkrankheit nachgewiesen. Frank und Casali (1986) vermuten sogar, dass kein Zusammenhang zwischen dem Perzeptionsstil und der Anfälligkeit für die Simulatorkrankheit besteht.

Auch die **Haltungsstabilität** steht in einer Beziehung zur Simulatorkrankheit. Haltungsstabilität kann mit verschiedenen Tests festgestellt werden und wird meist sowohl vor als auch nach der Simulatorexposition erfasst. In einer Studie von Kolasinski (1994) stand die Haltungsstabilität vor dem Simulatortraining stark in Zusammenhang mit NAUSEA und DISORIENTATION (als Subskalen des SSQ), jedoch wurde kein Zusammenhang mit der OCULOMOTOR-Subskala des SSQ gefunden. Demnach haben Personen, die schon vor der Simulatorexposition weniger haltungsstabil sind, stärkere Beschwerden (bezogen auf NAUSEA und DISORIENTATION) (Kolasinski et al., 1994). Eine andere Studie zeigte ebenfalls, dass eine geringe Haltungsstabilität nach dem Verlassen des Simulators in Zusammenhang mit hohen Werten auf der DISORIENTATION-Subskala des SSQ steht (Jones, Kennedy, Lilienthal & Berbaum, 1993; zitiert nach Kolasinski, 1995).

Als potentieller Einflussfaktor gilt auch der **Gesundheitszustand**. Kennedy, Berbaum et al. (1987) empfehlen, dass Menschen, die nicht in ihrem normalen Gesundheitszustand sind, nicht in den Simulator steigen sollen. Personen, die unter Erschöpfung, allen möglichen Formen von Erkältung, Müdig-

keit, Magenbeschwerden, emotionalem Stress, Ohrinfektionen, Ohrverstopfungen oder den Nachwirkungen übermäßigen Alkoholgenusses leiden bzw. solche, die regelmäßig Medikamente einnehmen oder erst kürzlich gegen Grippe geimpft worden sind, sollten nicht an einem Simulatortraining teilnehmen, denn für sie besteht eine erhöhte Anfälligkeit für Simulator Sickness (Kennedy, Berbaum et al., 1987).

Studien, die die Ausbildung von Simulatorkrankheitssymptomen mit Persönlichkeitsmerkmalen wie Neurotizismus, Ängstlichkeit und Introversen in Verbindung bringen, sind widersprüchlich. Auf sie wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

2.3.4.2 Simulatorbedingte Faktoren

Die Simulatorkrankheit kann durch viele technische Eigenschaften des Simulationssystems beeinflusst werden. Die simulatorbedingten Faktoren betreffen vor allem das Sicht- und das Bewegungssystem sowie deren Interaktion. Die in Tabelle 2.3-9 genannten simulatorbedingten Faktoren interpupilläre Distanz, stereo-/monoskopische Displays und Fehler bei der Positionserkennung (position tracking error) beziehen sich als Einflussfaktoren auf die Verwendung von Head Mounted Displays und werden deshalb nicht weiter ausgeführt. Die verbleibenden Faktoren werden nachfolgend einzeln erläutert.

Zur Qualitätssicherung ist eine regelmäßige und professionelle **Kalibrierung** des Simulationssystems unverzichtbar. Mit Hilfe der Kalibrierung anhand definierter Prüfgrößen wird die Langzeitstabilität und Genauigkeit des Systems gewahrt. Schlecht eingestellte Simulationssysteme können zu räumlichen und zeitlichen Abweichungen der Sicht- und Bewegungsdarstellung führen, was die Beschwerden der Simulatorkrankheit fördern könnte (McCauley & Sharkey, 1992).

Das **Sichtfeld** ist definiert durch die horizontalen und vertikalen Winkelmaße des Bildschirms bzw. der Projektionsfläche (Pausch et al., 1992). Es wird unterschieden zwischen weiten und engen Sichtfeldern. Für weite Sichtfelder wurde gezeigt, dass sie ein stärkeres Gefühl der Eigenbewegung hervorrufen und somit auch Auftreten und Stärke der Simulatorkrankheit erhöhen (Kennedy, Lilienthal et al., 1989). Auf den Zusammenhang zwischen Sichtfeld und Eigenbewegung wird unter Punkt 2.3.4.3 noch näher eingegangen. Anderson und Braunstein (1985; zitiert nach Pausch et al., 1992) untersuchten die Wahrnehmung einer durch visuelle Stimulation ausgelösten Eigenbewegung. Sie konnten das Gefühl einer Eigenbewegung bei ihren Probanden mit einem sehr kleinen Schinkel im zentralen Sehen bei Darbietung von Stimuli, die scheinbar Tiefenhinweise vermittelten, auslösen. Dieses Ergebnis führte zu der Annahme, dass sowohl die Darstellung der Bewegung als auch die der Tiefe möglicherweise eine größere Rolle spielen als das Sichtfeld des Bildschirms. Weiterhin erhöht ein weites Sichtfeld die Wahrscheinlichkeit, dass Flimmern wahrgenommen wird, was seinerseits an der Entstehung der Simulatorkrankheit beteiligt ist (Maxwell, 1992).

Die Größe des benötigten Sichtfeldes variiert in Abhängigkeit von der Fahraufgabe. Beim Fahren auf der Autobahn muss der Trainingsteilnehmer seine Umgebung scannen können, um Eigenbewegungsinformationen aus dem Muster des optischen Fließens zu gewinnen. An Kreuzungen braucht der Fahrer weniger Informationen über Eigenbewegungen, aber es ist erforderlich, dass er nach links und rechts schauen kann, um den Verkehr und eventuelle Gefahren einsehen zu können. In diesem Fall ist ein Sichtfeld von mindestens 180 Grad erforderlich, um die Kreuzung sicher zu überqueren. Auch bei Fahrten über Land muss der Fahrer weiträumig die Gegend absuchen, um Gefahren und enge, kurvige Straßen einzusehen, was wiederum ein weites Sichtfeld erfordert (siehe auch Mollenhauer, 2004). In Fahrersimulatoren werden generell meist große Bildschirme in Form von Projektionsflächen mit weitem Sichtfeld verwendet.

Der Faktor **Sichtposition** bezieht sich auf den zur Verfügung stehenden Raum (z.B. Fahrerkabine, Cockpit) vor dem Bildschirm, in welchem der Trainingsteilnehmer platziert werden kann, um eine ungestörte Sicht hoher Qualität auf das Display zu haben (Pausch et al., 1992). Die optimale Beobach-

tungsposition wird „design eyepoint“ genannt und liegt genau im Zentrum dieses Sichtbereichs (Pausch et al., 1992). Je weiter der Anwender von diesem Punkt entfernt ist, desto verzerrter nimmt er die dargestellten Szenen auf dem Bildschirm wahr. Nach Kennedy, Fowlkes und Hettinger (1989; zitiert nach Pausch et al., 1992) werden die optischen Verzerrungen noch durch hoch detaillierte Bild Darstellungen und weite Sichtfelder verstärkt, so dass die durch die Bildverzerrungen hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten unangemessene Eigenbewegungsinformationen vermitteln.

Es ist also möglich, dass der Anwender zwar innerhalb dieses Sichtbereiches situiert ist, aber nicht die optimale Sichtposition hat. Aufgrund der Sichtverzerrungen kann es dann zu erhöhten Simulatorkrankheitsinzidenzen kommen (Pausch et al., 1992). Dies könnte eine mögliche Erklärung für die Beobachtung unterschiedlicher Auftretenshäufigkeiten bei Flugbesatzungsmitgliedern sein. In einer Studie von Casali und Wierwille (1986) klagten Piloten, die näher am design eyepoint sitzen weniger über Simulatorkrankheitsbeschwerden als Copiloten, die sich zwar noch im Sichtbereich, aber nicht in der optimalen Sichtposition befinden.

Die Menge an Details, die für ein vorgegebenes Szenario vorhanden sein muss, wird als **Szenarieninhalt** bezeichnet (Pausch et al., 1992). Der Szenarieninhalt wirkt sich auf den später noch in diesem Abschnitt genannten Faktor Wiederholungsrate aus, über den er indirekt einen Einfluss auf die Simulatorkrankheit ausübt. Weiterhin besteht ein Zusammenhang zur Eigenbewegungsempfindung im Simulator (siehe Punkt 2.3.4.3).

Die visuelle Bilderzeugung auf dem Bildschirm geht mit **Leuchtstoffverzögerungen** (phosphor lag) einher. Das andauernde Leuchten des Phosphors auf dem Bildschirm beim Wechsel von einem Bildrahmen (frame) zum nächsten verursacht ein Verwischen des bewegten Bildes und möglicherweise auch Nachbilder vorangegangener Frames, was zur Simulatorkrankheit beitragen könnte (Pausch et al., 1992).

Die Frequenz, mit der der Elektronenstrom der Bildröhre die Phosphor-Pixel immer wieder zum Aufleuchten bringt, wird als **Wiederholungsrate** (refresh rate) bezeichnet (Thorell & Smith, 1990). Langsame Wiederholungsraten können zu Leuchtstoffverzögerungen führen sowie Flimmern fördern – beides Faktoren, die mit der Simulatorkrankheit in Verbindung gebracht werden (Pausch et al., 1992). Zusammen mit dem Faktor **Helligkeit** wirkt sich die Wiederholungsrate auf die Flimmerverschmelzungsfrequenz (siehe Punkt 2.3.4.1) aus. Je mehr die Helligkeit zunimmt, desto stärker muss auch die Geschwindigkeit der Wiederholungsrate zunehmen (Farrell, Casson, Haynie & Benson, 1988). Weiterhin gibt es einen Zusammenhang zwischen der Wiederholungsrate und dem schon erläuterten Faktor Sichtfeld. Da das visuelle System sensitiver ist für Bewegungen in der Peripherie im Vergleich zum zentralen Sehen, wird auf großen Bildschirmen mit einem weiten Sichtfeld eher Flimmern wahrgenommen, weshalb auch bei großen Bildschirmen eine erhöhte Wiederholungsrate angebracht ist, um das Flimmern zu unterdrücken (Pausch et al., 1992). In einem modernen Simulator bei normaler Helligkeit sollte die Wiederholungsrate keinen Einfluss auf die Simulator Sickness haben, solange sie konstant und nicht zu langsam ist (Mollenhauer, 2004).

Flimmern im Sichtbereich erhöht nicht nur die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Simulator Sickness, sondern ist auch ablenkend und verursacht Augenprobleme (Harwood & Fowley, 1987; Pausch et al., 1992; Rinalducci & MacArthur, 1990, alle; zitiert nach Kolasinski, 1995). Die Wahrnehmung des Flimmerns ist dabei nicht nur an die individuelle Flimmerverschmelzungsfrequenz geknüpft (siehe Punkt 2.3.4.1), sondern hängt auch mit der konkreten Umsetzung der Sichtsimulation zusammen. Um Flimmern zu unterdrücken, muss – wie im vorangegangenen Absatz bereits erwähnt – mit zunehmender Helligkeit und bei einem weiten Sichtfeld die Wiederholungsrate ansteigen. Auch der Zusammenhang zwischen Flimmern und Leuchtstoffverzögerungen wurde im vorigen Absatz über die Wiederholungsrate bereits verdeutlicht.

Die **Bildschirmauflösung** steht in Beziehung mit den zwei in den nachfolgenden Absätzen beschriebenen Faktoren Farbe und Kontrast sowie der später unter Punkt 2.3.4.3 erläuterten Helligkeit des Displays. Helligkeit, Kontrast und Auflösung sind so miteinander verknüpft, dass im Bereich geringer Helligkeit jede Veränderung eines dieser Faktoren sehr wahrscheinlich eine Änderung der anderen

beiden Faktoren nach sich zieht, um ein angemessenes Bild zu ermöglichen (Pausch et al., 1992). Durch eine begrenzte Auflösung könnte der Trainingsteilnehmer zentrale Eigenschaften übersehen, die er eigentlich in der Umwelt wahrnehmen sollte. Dies könnte die Augen sehr anstrengen, da sie versuchen, ein Bild zu fokussieren, das nicht scharf gestellt werden kann. Unter geringen Auflösungsbedingungen können weiterhin Bildverzerrungen oder Image-Slips indirekt zur Simulatorkrankheit beitragen. Image-Slips könnten einen optokinetischen Nystagmus auslösen, um das Bild mit einer reflexartigen Augenbewegung zu stabilisieren, oder schlechte Informationen an das vestibuläre System weiterleiten, was in einer geringeren Anpassung des vestibulären Nystagmus resultieren würde. Eine direkte Verbindung zwischen der Simulator Sickness und einer geringen Auflösung wurde allerdings bisher nicht festgestellt (siehe auch Mollenhauer, 2004).

Farben werden foveal wahrgenommen und Bewegungen peripher (Levine & Shefner, 1991). Da die Bewegungswahrnehmung eine wichtige Rolle einnimmt bei der Simulatorkrankheit, ist der Faktor **Farbe** nur von untergeordneter Bedeutung. Ein lediglich indirekter Einfluss könnte sich ergeben, wenn Farbdisplays zusätzlich eine niedrigere Auflösung haben (Pausch et al., 1992).

Ähnliches gilt für den Faktor **Kontrast**. Dieser ist definiert als Verhältnis zwischen höchstmöglicher und niedrigster Helligkeit des Bildschirms (Pausch et al., 1992). Je größer die Helligkeit, desto weniger wirken sich Veränderungen von Auflösung und Kontrast aus. Die Helligkeit steht allerdings mit dem in diesem Kapitel schon erwähnten Faktor Flimmern (Pausch et al., 1992) in Beziehung. Damit übt auch der Faktor Kontrast nur einen indirekten Einfluss auf die Simulatorkrankheit aus und zwar über den Zusammenhang zum Flimmern.

Während die oben genannte Wiederholungsrate angibt, wie oft ein Bildrahmen wiedergegeben wird, gibt die **Bildwiederholungsrate** (update rate) die Geschwindigkeit wieder, mit der eine Szenenabfolge generiert wird (Pausch et al., 1992). Als solche ist sie abhängig von der Komplexität der Szene und dem Leistungsvermögen der verwendeten Computertechnologien (Pausch et al., 1992). Langsame Bildwiederholungsraten können visuelle Verzögerungen bedingen, die sich nachteilig auf die Simulatorkrankheit auswirken (Pausch et al., 1992). Nach Draper (1996) arbeitet der vestibuläre Nystagmus intern mit einer Latenz von 20 ms bevor eine Augenbewegung als Reaktion auf eine Kopfbewegung gemacht wird. Somit verfügen die meisten Simulationssysteme über grafische Systeme, deren Bildwiederholungsrate wesentlich langsamer ist als die Fähigkeit des Nervensystems eine Veränderung zu entdecken. Daraus resultieren zusätzliche Nichtübereinstimmungen von Sinnesinformationen, die zur Entwicklung von Simulatorkrankheitssymptomen beitragen (Mollenhauer, 2004).

Zeitliche Verzögerungen (time lag) können sowohl im Sichtsystem als auch im Bewegungssystem auftreten. Gemeint ist eine Verzögerung zwischen der Eingabe, die der Trainingsteilnehmer im Simulator macht (z.B. Lenkradbewegung, Bremsen), und den damit verbundenen Veränderungen im Sicht- und Bewegungssystem des Simulators (Pausch et al., 1992). Zeitliche Verzögerungen sind vor allem dann problematisch, wenn sie zu Konflikten zwischen visuellen und vestibulären Sinnesinformationen führen.

Der Logik der sensorischen Konflikttheorie folgend kommt es bei fehlenden Bewegungsinformationen in einem Simulator ohne **Bewegungsplattform** zu einer offensichtlichen Diskrepanz zwischen der durch das visuelle Displaysystem vermittelten Eigenbewegung und der fehlenden korrespondierenden Stimulation des Vestibularorgans (McCauley & Sharkey, 1992).

Aufgrund von hohen Simulatorkrankheitsinzidenzen in statischen Fahrsimulatoren wurden Bewegungsplattformen eingeführt (Casali, 1986). Nach der sensorischen Konflikttheorie müsste die Ergänzung von Bewegungsinformationen durch die Plattform den visuell-vestibulären Konflikt reduzieren. Allerdings finden sich empirische Befunde sowohl dafür, dass in Simulatoren mit Bewegungssystem weniger Simulatorkrankheitsbeschwerden auftreten als in Simulatoren ohne Bewegungssystem (z.B. Curry et al., 2002; Watson, 2000), als auch dafür, dass durch die Bewegungsplattform die Simulatorkrankheit nicht reduziert wird (z.B. Sharkey & McCauley, 1992). Eine Untersuchung von 14 Flugsimulatoren (Kennedy & Fowlkes, 1992) erbrachte im Ergebnis eine Korrelation von .63 zwischen Bewegungsplattform (0=feststehender Simulator, 1=Simulator mit Bewegungssystem) und dem TOTAL

SCORE des SSQ (je höher der Score, desto stärker die Beschwerden). Kennedy, Lilienthal et al. (1989) verglichen Daten aus zehn verschiedenen Flugsimulatoren. Die Simulatoren mit den höchsten Simulatorkrankheitsinzidenzen verfügten unter anderem alle über ein Bewegungssystem mit sechs Freiheitsgraden und große Bildschirme mit einem weiten Sichtfeld. Bei den Flugsimulatoren ohne Bewegungsplattformen wurden die niedrigsten Simulatorkrankheitsraten gefunden.

Die Implementierung einer Bewegungsplattform in die Simulation ist also per se keine Garantie dafür, dass die Simulator Sickness reduziert wird. Es gibt viele konfundierte Faktoren, die über Erfolg oder Versagen von simulatorkrankheitsreduzierenden Maßnahmen entscheiden: Korrelationen mit der visuellen Darstellung, dem Tuning der Bewegungsplattform, zeitliche Verzögerungen und Elementen der Fahraufgabe (Mollenhauer, 2004).

Ein gut getuntetes Bewegungssystem kann zu einem gewissen Teil das Problem der Simulator Sickness reduzieren (Casali, 1986). Aber auch mit einem adäquaten Bewegungssystem können andere abweichende Stimuli (z.B. visuelle Verzerrungen) immer noch simulatorkrankheitsförderliche Bedingungen herstellen (Kennedy, Hettinger et al., 1990). Wie bereits erläutert, kommt es zwischen Sicht- und Bewegungssystem zu zeitlichen Verzögerungen. Somit stellt sich die Frage, welches System das andere führen soll. Mit genau dieser Frage beschäftigten sich Frank et al. (1988) in einer Fahrsimulationstudie. Es zeigte sich im Ergebnis, dass sich visuelle Verzögerungen störender auf Leistung und Wohlbefinden der Fahrer auswirkten als Verzögerungen des Bewegungssystems. Deshalb empfehlen die Autoren, dass Bewegungen in der visuellen Szene vor der Bewegung der Plattform einsetzen sollten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Frage, wie viel Bewegung durch die Plattform gegeben werden sollte (Casali, 1986). Diese Frage kann aber nur in Abhängigkeit von der Aufgabe beantwortet werden, da die Angemessenheit der Bewegung, die der Simulator produzieren soll, nur unter Berücksichtigung der zu erfüllenden Trainingsaufgabe eingeschätzt werden kann (McCauley & Sharkey, 1992).

Je aggressiver das Manöver, desto größer ist die Diskrepanz zwischen der Dynamik des Realflugzeugs und der des Flugsimulators, während das Muster optischen Fließens im Flugzeug und im Simulator gleich bleibt (McCauley & Sharkey, 1992). Eine Bewegungsplattform ist bei Geradeausflug unwichtig. Das Gleiche gilt wahrscheinlich auch für bloßes Geradeausfahren in einem Fahr Simulator. Andererseits ist nach McCauley und Sharkey (1992) eine Bewegungsplattform unzureichend, wenn sie in einem Kampf-Manöver-Szenario angewendet wird, das schnelle, mehrfache und lang gezogene Beschleunigungen beinhaltet. Denn kein Bewegungssystem eines Flugsimulators ist in der Lage, mehr als den Beginn einer lang anhaltenden Beschleunigung zu vermitteln.

Die hydraulischen Hexapod-Bewegungssysteme, die in Flugsimulatoren gewöhnlich Anwendung finden, verfügen über einen limitierten Schwenkbereich und eignen sich nur für sanftes Manövrieren. Für aggressive Manöver werden so genannte Motion-Washout-Algorithmen implementiert, die die Plattform innerhalb ihrer physikalischen Grenzen halten (McCauley & Sharkey, 1992). Diese Algorithmen reduzieren die Steigung und Dauer der Plattformbeschleunigungen relativ zum realen Flugzeug. Initiale Bewegungsreize werden zu Beginn einer Beschleunigung gegeben und sind gefolgt von unter-schwellig Beschleunigungen in die Gegenrichtung. Diese Beschleunigungen in die Gegenrichtung beim Washout können zur Entstehung sensorischer Konflikte beitragen (McCauley & Sharkey, 1992). Motion-Washout-Algorithmen finden ihre Anwendung ebenfalls in der Fahrsimulation.

Weiterhin gibt es einige Beispiele dafür, dass sich die Fahrleistung durch das Hinzufügen von Bewegung verbessert. In einer Studie von Reymond et al. (1999) zeigte sich in der Bedingung mit Bewegung, dass die Probanden langsamer durch Kurven fahren als in der Bedingung ohne Bewegung. Die Autoren vermuten, dass die Querbeschleunigungsinformationen die Fahrer dazu veranlassen haben, die Geschwindigkeit zu reduzieren, um das Risiko, von der Straße abzukommen, zu verringern. Übereinstimmend mit einer von Ritchie, McCoy und Welde (1968, zitiert nach Reymond et al., 1999) aufgestellten Hypothese gehen sie davon aus, dass die lateralen Beschleunigungsinformationen in der Bedingung mit ausgeschaltetem Bewegungssystem, in der nur visuelle Informationen zur Verfügung stehen, unterschätzt werden und somit zu einem niedrigeren wahrgenommenen Risiko und einer höheren Geschwindigkeit führen. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die Fahrer durchaus die Beschleuni-

gungsinformationen des Bewegungssystems nutzen, um ihr Risiko abzuschätzen. Es dominiert also nicht nur der visuelle Eindruck. In dieser Studie führte das Hinzufügen von Bewegung dazu, dass sich das Verhalten der Fahrer mehr an das Verhalten in der realen Welt annäherte.

Auch Siegler et al. (2001) untersuchten den Einfluss von Bewegung auf Fahraufgaben. Vor allem Abbremsen bis zum Stillstand des Autos und Abbiegen an Kreuzungen mit einem Winkel von 90° in einer städtischen Simulationsumgebung beinhalten hohe Beschleunigungen. Der Fahrer nimmt die Verzögerung beim Abbremsen über das vestibuläre System und propriozeptive Empfindungen von Hals und Rumpf wahr. Beim Bremsen in einem Simulator ohne Bewegungssystem fehlen diese Empfindungen, so dass ein visuell-vestibulärer Konflikt entstehen kann. In der Bedingung mit Bewegung machten die Fahrer Bremseneingaben, die nahe an denen waren, die man auch im Realfahrzeug erwarten würde, verglichen mit den ungewöhnlich großen und unrealistischen Bremseneingaben in der Bedingung ohne Bewegung. Weiterhin wurden Unterschiede im Abbiegeverhalten gefunden. Das Abbiegen in einer städtischen Umgebung beinhaltet große Längs- und Querschleunigungen und wird zudem dadurch erschwert, dass das Szenario sehr detailreich ist (z.B. Gebäude, Fußgänger, andere Autos). Es zeigte sich im Ergebnis, dass die durch die Plattform vermittelte Querschleunigung dazu führte, dass die Fahrer weitere Radien fuhren als in der Bedingung ohne Bewegung. Auch in dieser Studie zeigte sich, dass die Fahrer ohne die Vermittlung von Querschleunigung schneller durch Kurven fuhren als in der Bedingung mit vestibulärer Bewegungsinformation.

2.3.4.3 Aufgabenbedingte Faktoren

Zu den aufgabenbedingten Faktoren zählen das Ausmaß der Kontrolle, die Dauer der Exposition, das globale Muster optischen Fließens, die Geschwindigkeit der Eigenbewegung, illusorische Eigenbewegung, Kopfbewegungen, Beschleunigung, ungewohnte Manöver, Helligkeit, sitzende vs. stehende Position des Anwenders im Simulator, Art der Anwendung, Höhe über Grund und Fortbewegungsart. Die beiden zuletzt genannten Einflussfaktoren sind speziell bezogen auf die Flugsimulation bzw. Cyberspaceanwendungen und werden aus diesem Grund nicht näher ausgeführt.

Gewährt man dem Anwender Kontrollmöglichkeiten bei der Ausführung der Aufgabe, reduziert sich die Simulatorkrankheitsrate. **Kontrolle** ist in diesem Zusammenhang gleichbedeutend mit der Möglichkeit zur Antizipation zukünftiger Bewegungen des Simulators. Diese Bewegungsantizipation ermöglicht es, sich auf den Simulator einzustellen, und schützt somit vor dem Erlebnis nicht kohärenter Sinnesinformationen (Pausch et al., 1992). Entsprechend sind geringere Ausprägungen der Simulatorkrankheit bei Piloten und Fahrern im Vergleich zu Copiloten und Passagieren zu beobachten (Casali, 1986). Hat also der Trainingsteilnehmer Möglichkeiten, selbst Input zu erzeugen, und somit hohe Kontrolle, reduziert sich die Simulatorkrankheitsanfälligkeit (Pausch et al., 1992).

Die Simulatorkrankheit hängt mit der zeitlichen Erstreckung der simulatorgestützten Trainingseinheiten insofern zusammen, als dass mit zunehmender **Dauer der Simulatorübungen** die Simulatorkrankheitsinzidenzen ansteigen (McCauley & Sharkey, 1992). Kennedy und Fowlkes (1992) berichten eine Korrelation von .50 zwischen Flugdauer (0=0-1h, 1=1.1-2h, 2=mehr als 2h) und dem TOTAL SCORE des SSQ, d.h. je länger die Trainingseinheit in den 14 untersuchten Flugsimulatoren (n>2000 Expositionen) war, desto stärker waren auch die Simulatorkrankheitsbeschwerden. Eine neuere Untersuchung in Helikoptersimulatoren (Kennedy, Stanney & Dunlap, 2000) belegt ebenfalls einen Anstieg der TOTAL SCORES mit zunehmender Trainingsdauer (siehe Tabelle 2.3-10). Neben der Dauer wurde in dieser Studie auch die Anzahl der Expositionen untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die TOTAL SCORES in der ersten Exposition am höchsten waren und mit jeder weiteren Trainingseinheit immer mehr abnahmen (siehe auch Tabelle 2.3-11). Generell wird empfohlen, die Dauer einer Trainingseinheit im Simulator unter keinen Umständen auf mehr als zwei Stunden auszuweiten und auch Pausen einzulegen (Kennedy, Berbaum et al., 1987).

Tabelle 2.3-10: Deskriptive Statistiken der TOTAL SCORE-Skalenwerte für unterschiedlich lange Trainingseinheiten in Helikoptersimulatoren aus der Studie von Kennedy, Stanney & Dunlap (2000).

	Dauer der Trainingseinheit			
	0-1h	1-2h	2-3h	>3h
m	10.78	14.09	14.67	17.48
sd	15.42	14.62	18.55	17.29
n	85	672	129	52

Tabelle 2.3-11: Deskriptive Statistiken der TOTAL SCORE-Skalenwerte im Verlauf von sieben Trainingseinheiten in einem Helikoptersimulator aus der Studie von Kennedy et al. (2000).

	Anzahl der Trainingseinheiten							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
m	15.53	10.73	4.38	4.31	2.40	2.26	1.55	5.88
sd	22.03	30.12	7.29	7.53	5.03	4.94	4.11	15.63
n	53	53	53	53	53	53	53	371

Das **Muster des optischen Fließens** liefert dem Anwender Informationen über die Geschwindigkeit seiner Eigenbewegung. Beide Einflussfaktoren sind eng miteinander verknüpft. In einem Simulator führt ein extrem niedriges Tempo dazu, dass optisch gar keine Bewegung empfunden wird, ein zu schnelles Tempo lässt die Bewegung verschwimmen. Weiterhin ist in einer typischen Fahrscene der optische Fluss meist sehr hoch, weil der Augenpunkt des Fahrers nahe an der Straßenoberfläche ist, und die Szenerie oft viele Details, wie z.B. andere Fahrzeuge, Gebäude, Verkehrszeichen und Fußgänger, beinhaltet (Mollenhauer, 2004). Bei einem statischen Simulator tritt das Phänomen der **illusorischen Eigenbewegung** auf. Dieses Phänomen erlebt man beispielsweise auch, wenn man in einem stehenden Zug aus dem Fenster auf den Zug am Nebengleis schaut. Fährt dieser an, hat man kurzfristig das Gefühl, sich selbst zu bewegen, obwohl der eigene Zug weiterhin steht. Dieser Effekt findet sich auch in virtuellen Umwelten. Visuelle Repräsentationen von Bewegung beeinflussen das vestibuläre System, da bei visueller Beschleunigungsinformation auch eine entsprechende vestibuläre Beschleunigungsinformation erwartet wird. Displays, die starke vestibuläre Effekte produzieren, rufen auch die meisten Simulatorkrankheitsbeschwerden hervor (Kennedy, Hettinger et al., 1990). Wenn ein Stimulus ein starkes Gefühl der Eigenbewegung hervorruft, hängt es von der Übereinstimmung zwischen simulierten und realen Stimuli ab, ob Simulator Sickness auftritt oder nicht (Kennedy, Berbaum & Smith, 1993). Weiterhin beeinflusst die Weite des Sichtfelds (siehe dazu auch Punkt 2.3.4.2) die Eigenbewegungsempfindung, da ein weites Sichtfeld eine größere Bewegungswahrnehmung ermöglicht. Ein weites im Vergleich zu einem engen Sichtfeld hat ein stärkeres Gefühl der Eigenbewegung zur Folge und erhöht somit auch Auftreten und Stärke der Beschwerden (Kennedy, Lilienthal et al., 1989). So beinhaltet ein weites Sichtfeld eine erhöhte Stimulusanzahl in der peripheren Sicht, von der bekannt ist, dass sie einen Einfluss auf die Eigenbewegungswahrnehmung hat (Mollenhauer, 2004).

Die Veränderungen im Muster des optischen Fließens werden vom visuellen System aufgenommen und informieren auch über Linear- und Rotationsbeschleunigungen. In der realen Umwelt werden diese Veränderungen von korrespondierenden vestibulären Informationen begleitet. Besonders in einem feststehenden Simulator fehlt diese vestibuläre Information für den intersensorischen Abgleich und trägt somit zum sensorischen Konflikt bei.

Das Potential zur Eigenbewegungsempfindung könnte in Fahr simulatoren sogar noch größer sein als in Flugsimulatoren (McCauley & Sharkey, 1992), da in letzteren der Augenpunkt in einer größeren Höhe liegt und somit das Muster des optischen Fließens langsamer ist (unter Ausnahme von Manövern in Bodennähe). Sowohl die Szenenkomplexität als auch das Muster des optischen Fließens sind in Simulatoren für Bodentransportmittel (z.B. Auto, Panzer, Lkw) gewöhnlich größer.

Ferner können heftige und schnelle **Kopfbewegungen** die Simulatorkrankheit verstärken, was auf Coriolis- bzw. Pseudo-Coriolis-Effekte (Kopfnäigungen bei rein optokinetischen Reizen) zurückgeführt wird (Dichgans & Brandt, 1973). Bei schnellen und/oder heftigen Kopfbewegungen im Simula-

tor macht sich die Corioliskraft sehr stark beim Anwender bemerkbar, was die Symptome der Simulator Sickness verstärken kann.

Unterschiedliche Trainingsaufgaben beinhalten unterschiedlich intensive Manöver. Insbesondere die Darstellung aggressiver Manöver unterliegt den physikalischen Grenzen des Simulators, die zu Grunde liegenden Linear- und Rotationsbeschleunigungen adäquat nachzubilden. Obwohl Forschungsergebnisse bezüglich des Zusammenhangs von Manöverintensität und Simulatorkrankheit nicht einheitlich sind, wird vermutet, dass mit zunehmender **Manöverintensität** auch die Inzidenz der Simulatorkrankheit ansteigt (McCauley & Sharkey, 1992). Daher sollten Aufgaben, die die Simulation hoher Linear- oder Rotationsbeschleunigungen erfordern, vermieden oder kurz gehalten werden.

Zusätzlich sollten Trainingsaufgaben, die außergewöhnliche oder **ungewohnte Manöver** beinhalten, vermieden werden (McCauley & Sharkey, 1992). Vor allem schnelles Fahren in engen Kurven, langsames Durchfahren lang gezogener Kurven und Kreuzungssituationen sind provokative Situationen in Fahr simulatoren, da sie atypische Kopfbewegungen auslösen können (Money, 1980; zitiert nach Frank & Casali, 1986). Simulatorkrankheitsförderlich sind auch das abrupte Einfrieren (situational freeze) der simulierten Situation und schnelles zeitliches Vor- bzw. Zurücksetzen der Simulation (situational reset) während der Trainingsteilnehmer noch im Simulator ist und den Bildschirm beobachtet (Frank & Casali, 1986). Es wird empfohlen, Leerszenen beim Betreten und Verlassen des Simulators zu zeigen, sowie bei einem situational reset den Trainingsteilnehmer zu bitten, die Augen zu schließen oder den Kopf zu senken, um den Blick vom Bildschirm abzuwenden (Frank & Casali, 1986).

Ausgehend von der Theorie der Haltungsinstabilität wird vermutet, dass eine sitzende im Vergleich zu einer stehenden **Position** des Anwenders im Simulator aufgrund reduzierter Anforderungen an die Haltungskontrolle vor dem Auftreten der Simulatorkrankheit zu schützen vermag (Riccio & Stoffregen, 1991).

Die **Art der Anwendung** beeinflusst das Auftreten von Simulator Sickness (McCauley & Sharkey, 1992). Die Autoren führen die Begriffe „nahe“ (near) und „ferne“ (far) Anwendungen virtueller Realität ein. Nahe Anwendungen beinhalten nahe liegende Objekte, eine stationäre Position und eine fehlende Eigenbewegungssillusion. Ferne Anwendungen umfassen weiter entfernte Objekte, die Notwendigkeit der Eigenbewegung im Raum und visuell induzierte Eigenbewegungsempfindungen (Vektion). Die Simulatorkrankheit tritt hauptsächlich in fernen Anwendungen, zu denen auch Flug- und Fahr simulatoren gehören.

2.4 Zusammenfassende Bewertung und methodische Anmerkungen

Für die Entstehung der Simulatorkrankheit wurden unterschiedliche theoretische Ansätze entwickelt, die jedoch das Auftreten und die zu beobachtenden Phänomene bislang nicht vollständig erklären können. Neben den theoretischen Annahmen wurde eine Vielzahl von Einflussfaktoren identifiziert, die das Auftreten von Kinetose in Simulationsumgebungen begünstigen. Diese lassen sich einteilen in personenspezifische, aufgabenbezogene und technische Faktoren. Auf der Basis des Wissens um deren Wirkung lassen sich gezielt Maßnahmen definieren, die dem Problem der Simulatorkrankheit entgegenwirken können. Obwohl die Mehrzahl der Studien dem fliegerischen Bereich entstammt, lassen sich viele Befunde auch auf die Fahrsimulation übertragen.

Auftreten und Ausmaß der Kinetosebeschwerden stellen im Rahmen der Evaluation eines Fahrsimulatortrainings wichtige Kriterien dar. Bis dato findet sich für eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Fahrsimulatoren kein ausreichendes Material. Die wenigen vorhandenen Studien sind aufgrund sehr unterschiedlicher Expositionsdauern und Fahraufgaben – beide Faktoren haben einen wesentlichen Einfluss – kaum vergleichbar.

Zur Erfassung des Ausmaßes der Simulatorkrankheit hat sich der Simulator Sickness Questionnaire nach Kennedy, Lane et al. mittlerweile als Standardverfahren etabliert. Im fliegerischen Bereich wird er quasi als „Benchmark“ verwendet. Dabei dient der TOTAL SCORE als globales Maß für das Simulatorkrankheitsproblem, während die Subskalen spezifische Symptomcluster abbilden. In aktuellen Forschungsarbeiten der Gruppe um Kennedy wird versucht, mit Hilfe des Fragebogens Probleme der technischen Gestaltung in Simulatoren aufzudecken. Herangezogen werden dazu die Subskalen-Scores, von denen angenommen wird, dass bestimmte Symptomprofile auf spezifische technische Defizite hinweisen. So wird z.B. ein hoher NAUSEA-Score mit den dynamischen Eigenschaften und den Zeitverzügen des Bewegungssystems in Verbindung gebracht. Empirische Belege für diese Annahme liegen bislang nicht vor.

Da der SSQ zunehmend häufiger auch zur Bewertung anderer Simulationsumgebungen und virtueller Realitäten verwendet wird, seien an dieser Stelle einige Punkte angemerkt, die insbesondere methodische Aspekte und Fragen der Übertragbarkeit des Verfahrens auf die Fahrsimulation betreffen.

Der SSQ wurde anhand eines Datenpools aus verschiedenen Flugsimulatoren entwickelt. Dabei spiegeln die Skalengewichte die in dieser vergleichsweise homogenen Stichprobe gegebenen Varianzen wider. Zu prüfen ist – und hierzu liegen derzeit keine Studien vor – ob und inwieweit die SSQ-spezifischen Gewichtungen auf andere Simulatoranwendungen übertragbar sind⁸. Zweifel hieran ergeben sich aus unterschiedlichen Gründen:

- **Selektivität der Stichprobe:** Die Skalenscores basieren auf den Angaben von Piloten. Bei diesen handelt es sich um eine gegenüber der Population, die in Fahrsimulatoren ausgebildet werden soll, sehr homogene Gruppe. Diese Homogenität resultiert zum einen aus Selektions- und zum anderen aus Trainingseffekten. So wählen Personen mit hoher Anfälligkeit für Bewegungskrankheiten sicher nicht den Pilotenberuf bzw. werden im Voraus selektiert. Des Weiteren bildet das Simulator-

⁸ Eine ähnliche Kritik wurde von Kim, Parker und Park (2004) geäußert, die ebenfalls Fahrsimulationsuntersuchungen durchführten und in Anlehnung an den SSQ einen eigenen Fragebogen konstruierten. Verwendet wurden insgesamt 24 Symptome, die auf einer elfstufigen Skala zu beurteilen waren, auf vier Symptomprofilen differenzierten und ebenfalls die Ableitung von Skalenscores ermöglichten. Die Angaben dieser Autoren basieren auf einer Stichprobe von insgesamt n=64 Koreanern, die in einem feststehenden Fahrsimulator untersucht wurden. Da Asiaten als anfälliger für visuell induzierte Eigenbewegungen gelten (Stern et al., 1993; zitiert nach Kolasinski, 1995), handelt es sich in dieser Studie ebenfalls um eine sehr spezielle Stichprobe. Ein weiterer Kritikpunkt betrifft den geringen Stichprobenumfang: üblicherweise sollte der Berechnung von Faktorenanalysen eine gegenüber der Variablenzahl mindestens dreifach höhere Probandenzahl zugrunde liegen.

training einen festen Bestandteil der fliegerischen Ausbildung und es ist aufgrund der Literaturbefunde davon auszugehen, dass Adaptation an eine Simulationsumgebung zu einer Reduktion der Beschwerden führt. Wie bei Kennedy, Lane et al. (1993) ausgeführt, wurde bei der faktorenanalytischen Berechnung keine Trennung inter- und intraindividuelle Varianz vorgenommen, d.h. es gehen teilweise auch Mehrfachmessungen einer Person ein, was letztlich zu einer Verringerung der Stichprobenvarianz führt.

- Aufgabenspezifität: Es ist davon auszugehen, dass sich die in der Flugsimulation vorliegenden Anforderungen massiv von den in der Fahrsimulation gegebenen unterscheiden. Dies betrifft z.B. Aspekte der Wahrnehmung von Eigenbewegungen (vgl. Abschnitt 2.3.4.3) und hier insbesondere die das Fahren kennzeichnende häufig wechselnde Dynamik von Bewegungssituationen.

3 Datenerhebungen zur Kinetose im Projekt VTS

3.1 Übersicht der Evaluationsarbeiten

Das Training polizeilicher Einsatzfahrten in der Fahrsimulation ist gekennzeichnet durch eine Reihe von Bedingungen, die aufgrund vorliegender Literaturbefunde als kinetoseförderlich einzustufen sind. An erster Stelle ist dabei wohl die Intensität der Fahrmanöver zu nennen (McCauley & Sharkey, 1992): insbesondere Stadt-Einsatzfahrten sind charakterisiert durch häufige Abbiege- und Bremsmanöver, die mit hohen Quer- und Längsbeschleunigungen einhergehen und das Kinetoserisiko massiv erhöhen. Ein weiterer Faktor ergibt sich aus den zeitlichen Rahmenbedingungen des zweitägigen Trainings (siehe hierzu ausführlich Teilbericht I): innerhalb kurzer Zeit absolviert jeder Trainingsteilnehmer mehrere Simulatorfahrten. Intensive Adaptationsphasen und mehrtägige Pausenzeiten (Watson, 1998), wie sie im fliegerischen Bereich zur Reduktion von Kinetose eingeführt werden, sind aufgrund der straffen Trainingsorganisation in der Fahrausbildung nicht möglich.

Mit Aufnahme des Simulatortrainings in Sulzbach-Rosenberg wurde die Thematik Simulatorkrankheit dann auch zum außerplanmäßigen Gegenstand der Evaluationsarbeiten, da bereits in den ersten Testläufen im Februar 2003 auffällig wurde, dass sich aufgrund unerwartet hoher Kinetose-Raten massive Beeinträchtigungen der Trainingseffizienz ergeben.

In Zusammenarbeit mit dem Simulatorhersteller wurde deshalb eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um dem Problem zu begegnen. Diese Maßnahmen wurden durch kontinuierliche Erhebungen und Auswertungen begleitet. Die Projektarbeiten zur Erfassung und Reduktion von Kinetose lassen sich dabei in mehrere Phasen unterteilen. Nachstehende Tabelle 3.1-1 gibt einen Überblick.

Tabelle 3.1-1: Übersicht der Erhebungsphasen zur Kinetose.

KW	Projektarbeiten
	Untersuchungsreihe I:
05/2003-06/2003	Beobachtungen während der Trainingstestläufe
08/2003-10/2003	Erfassung von Ausfallraten (Instruktorprotokolle)
11/2003-15/2003	Beobachtungsreihe zur Ansteuerung des Bewegungssystems
20/2003-30/2003	Beobachtungsreihe „Neutuning“
39/2003- 06/2004	Untersuchungsreihe II: „Inzidenz, Symptomatik, Nachwirkungen“
07/2004-18/2004	Untersuchungsreihe III: Fahrten mit / ohne Bewegungssystem

In der Anfangsphase des Projekts wurden Modifikationen der ursprünglichen Konfiguration des Bewegungssystems vorgenommen. Bei der Darstellung der Ergebnisse dieser Untersuchungsreihen stützen wir uns im Folgenden ausschließlich auf die beobachteten Ausfallraten. Die Ergebnisse dieser Erhebungen sind Gegenstand des Kapitels 3.2.

In Kapitel 4 dargestellt werden die Ergebnisse umfassender Datenerhebungen, in denen u. a. der SSQ eingesetzt wurde, um Häufigkeiten und Ausmaße der Kinetosebeschwerden zu erfassen. Eine weitere Untersuchungsreihe, in der die Auswirkungen des Fahrens mit und ohne Bewegungssystem analysiert wurden, ist Inhalt des Kapitels 5.

3.2 Untersuchungsreihe I: Ausfallraten bei Variation der Konfigurationen

3.2.1 Maßnahmen aufgrund der Erfahrungen der Trainingstestläufe

Zur Erprobung des Schulungsablaufs wurden in den KW 5 und 6/2003 zwei Testläufe durchgeführt, an denen Beamte der Einsatzstufe teilnahmen. Während der Trainingsbeobachtungen wurde sehr schnell offensichtlich, dass die Simulatorfahrten mit massiven Beeinträchtigungen des Befindens und hohen Ausfallraten einhergingen. Als Konsequenz dieser ersten Erfahrungen wurden mehrere Maßnahmen ergriffen. Diese lassen sich wie folgt gliedern:

- Verkürzung der Expositionsdauer: In mehreren Forschungsarbeiten finden sich Belege für den Einfluss der Dauer des Simulatoreufenthalts auf die Symptomausprägung (McCauley & Sharkey, 1992) und die Dauer der Nachwirkungen (Fowlkes, Kennedy, & Lilienthal, 1987). Typischerweise werden Beschwerden erst bei längerer Benutzung berichtet. Im Extremfall – und dies wurde in der Einsatzfahrtsimulation beobachtet – können Symptome allerdings schon nach weniger als zehn Minuten auftreten. Als Konsequenz wurden die ohnehin kurzen Trainingssequenzen unmittelbar nach der Testlaufphase noch einmal überarbeitet, so dass pro Übungsfahrt eine zeitliche Dauer von 8-10 Minuten nicht überschritten wurde.
- Klimatisierung: Grund zur Beschwerde gab die Klimatisierung der Fahrzeugkabine. In der Folge wurden die Temperaturen im Innenraum gesenkt und die Belüftung verstärkt.
- Veränderung der Lenkungseigenschaften durch RDE: Das Fahrverhalten des Simulatorfahrzeugs erwies sich als extrem gewöhnungsbedürftig und gab Anlass zu massiven Beschwerden bezüglich der Lenkungs- und Bremseigenschaften. Verbesserungen wurden erwartet aufgrund der im Anschluss an die Testläufe von RDE vorgenommenen Anpassungsarbeiten. Nähere Informationen zu den technischen Details liegen dem Begleitprojekt nicht vor.
- Veränderung der Instruktion: Die ersten Erfahrungen im Training führten weiterhin zu einer Sensibilisierung der Instrukturen hinsichtlich der Früherkennung der Anzeichen bei der Beobachtung des Fahrers und des Ergreifens geeigneter Maßnahmen (Pausengestaltung, Unterbinden der Beobachtung am Mitschauplatz bei Teilnehmern mit Beschwerden, etc.).

3.2.2 Ausfallraten der Ausgangskonfiguration

Um die Ausfallraten zu quantifizieren, wurde mit Beginn der eigentlichen Schulungen in KW 8 ein Beobachtungsprotokoll der Simulatorfahrten geführt. In diesem Protokoll wurde für jede Übung festgehalten, ob der Fahrschüler diese vollständig absolvierte, vorzeitig abbrach bzw. nicht absolvierte. Gefahren wurde in diesen drei Trainingswochen mit der im Oktober 2002 definierten Ausgangskonfiguration des Bewegungssystems.

Ein „Ausfall“ ist im Folgenden gekennzeichnet durch das Auftreten starker Beschwerden, die

- zu einem vorzeitigen Fahrabbruch führen,
- den Nichtantritt einer Trainingsfahrt zur Folge haben,
- oder eine Fortführung des Trainings nur unter veränderten Simulatorbedingungen erlauben (hier Deaktivieren des Bewegungssystems).

Die Erfassung der Ausfallraten auf der Basis der Instruktorprotokolle erstreckte sich insgesamt über drei Wochen (KW 8-10), in denen N= 64 Auszubildende das Simulatortraining absolvierten. Die Er-

gebnisdarstellung berücksichtigt den zeitlichen Verlauf innerhalb des zweitägigen Trainings, das pro Fahrer mehrere Simulatorübungen vorsieht. Im genannten Erhebungszeitraum enthielt der Trainingsplan am ersten Tag fünf, am zweiten Tag drei Übungsfahrten.

Für jede Übung wird der prozentuale Anteil der Trainingsteilnehmer angegeben, die die Fahrt aufgrund kinetosebedingter Beschwerden nicht in der vorgesehenen Weise absolvierten. Da mehrere Fahrten aufgrund technischer Gegebenheiten oder knapper zeitlicher Rahmenbedingungen nicht stattfanden, wurde pro Übung eine korrigierte Gesamtzahl der Fahrten ermittelt (Abbildung 3.2-1). Die Ergebnisse der Auswertungen sind enthalten in Tabelle 3.2-1 und grafisch dargestellt in Abbildung 3.2-2.

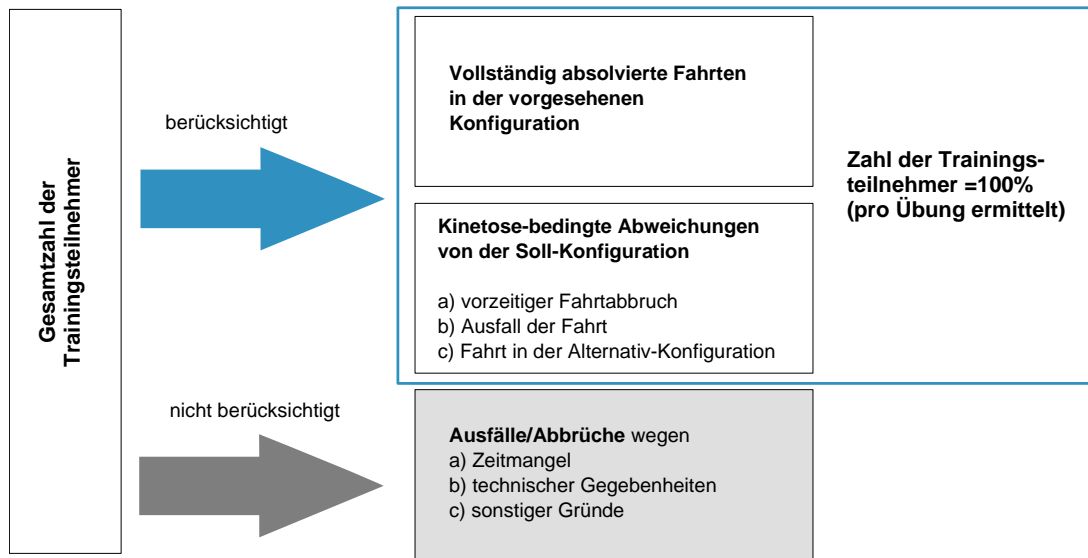


Abbildung 3.2-1: Berechnung der Gesamtzahlen auswertungsrelevanter Fahrten pro Simulatorübung.

Tabelle 3.2-1: Häufigkeitsstatistik der Ausfallraten für die Ausgangskonfiguration in KW 8-10 (T=Trainingsfahrt, E=Einsatzfahrt).

Trainingstag	Übung	Fahrt	Fahrten	Fahrten in der Soll-Konfiguration		Kinetosebedingte Ausfälle	
			gesamt N _{kor}	N	%	N	%
1	1	T-BAB	63	62	98.41	1	1.59
	2	T-Land	63	57	90.48	6	9.52
	3	E-Land	63	43	68.25	20	31.75
	4	T-Stadt	53	29	54.72	24	45.28
	5	E-Stadt 1	27	14	51.85	13	48.15
2	6	E- BAB	59	37	62.71	22	37.29
	7	E-Stadt 2	59	35	59.32	24	40.68
	8	E-Stadt 3	55	31	56.36	24	43.64

Für den dreiwöchigen Beobachtungszeitraum, in der mit der Ausgangskonfiguration gefahren wurde, sind folgende Punkte festzuhalten:

- Die Ausfallraten aufgrund massiver Kinetosesymptome nehmen an beiden Tagen von Fahrt zu Fahrt zu.
- Am Trainingstag 1 sind bereits bei der zweiten Fahrt 10% Ausfälle zu verzeichnen.
- Der stärkste Anstieg der Ausfallrate findet sich nach der zweiten Trainingsfahrt (Datenbasis Land).

- Die Ausfallquoten erreichen Werte von nahezu 50% am Ende des Trainingstags 1.
- Es gibt einen „Erholungseffekt“ zwischen Tag 1 und Tag 2: die Ausfallquoten der ersten Fahrt am Trainingstag 2 sind geringer als bei der letzten Fahrt des ersten Trainingstags.
- Betrachtet man die Höhe und den Verlauf der Ausfallraten am zweiten Trainingstag, ist nur eine geringfügige Adaptation an die Simulatorumgebung festzustellen.
- Insgesamt zeigen diese Daten Ausfallraten von bis zu 50% am ersten Tag und bis zu 45% am zweiten Trainingstag. Damit liegen die für die Ausgangskonfiguration beobachteten Ausfallquoten in nicht akzeptabler Höhe.

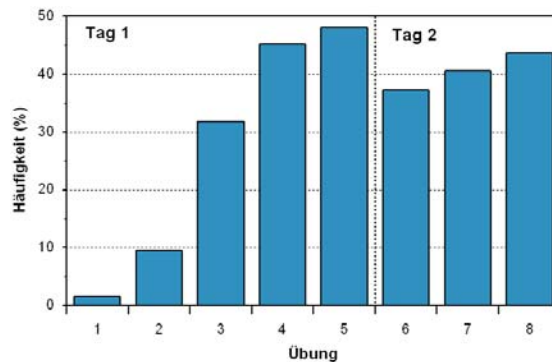


Abbildung 3.2-2: Prozentuale Ausfallraten für die Ausgangskonfiguration in KW 8-10.

3.2.3 Beobachtungsreihe zur Ansteuerung des Bewegungssystems

3.2.3.1 Variation der Skalierungsfaktoren

Auf der Basis dieser Ergebnisse wurde in den KW 11-15 eine Beobachtungsreihe durchgeführt, die die Erprobung unterschiedlicher Einstellungsvarianten des Bewegungssystems zum Ziel hatte. Von RDE wurden neben der Ausgangsvariante drei unterschiedliche Konfigurationen (2-4) definiert, die in Tabelle 3.2-2 im Überblick gezeigt sind. Diese Varianten sind gekennzeichnet durch unterschiedliche Skalierungen der Längs- und Querdynamik. Die Skalierung ist jeweils angegeben als prozentualer Anteil der in der Ausgangskonfiguration gegebenen Amplitude. Ergänzt wurden die Konfigurationen durch eine Bedingung, in der das Bewegungssystem vollständig deaktiviert wurde (Konfiguration 5). Ziel war es, für jede der Konfigurationen eine Teilstichprobe von ca. N=20 Fahrern zu untersuchen. Der genaue Zeitplan ist sortiert nach den unterschiedlichen Konfigurationen der Tabelle 3.2-3 zu entnehmen. Die Auswertungen stützen sich auf eine Stichprobe von insgesamt N=103 BiA.

Mit Beginn des Erhebungszeitraums dieser Beobachtungsreihe wurde aus Zeitgründen das ursprünglich acht Fahrten umfassende Trainingsprogramm auf sieben Simulatorfahrten gekürzt. Es entfiel die am ersten Tag vorgesehene Trainingsfahrt in der Stadtumgebung (vgl. Abschnitt 3.2.2). Alle Teilnehmer beginnen die Trainingsfahrten in der jeweils vorgesehenen Variante. Während der zweitägigen Schulung soll die Konfiguration des Bewegungssystems beibehalten werden. Im Fall der Konfigurationen 1-4 wird beim Auftreten starker Kinetosesymptome auf Wunsch des Schülers das Bewegungssystem abgeschaltet. Ein Zuschalten des Bewegungssystems bei Konfiguration 5 war grundsätzlich im Untersuchungsplan nicht vorgesehen. Die prozentualen Häufigkeiten der Ausfallraten für die fünf Konfigurationen sind dargestellt in der nachstehenden Tabelle 3.2-4 und in Abbildung 3.2-3.

Tabelle 3.2-2: Definition der Konfigurationen (Die Skalierungsfaktoren kennzeichnen Faktoren zwischen 0 und 1 zur Reduktion der Auslenkungen des Bewegungssystems.).

Konfiguration	Längsbeschleunigung	Querbeschleunigung
1 Ausgangskonfiguration	Faktor = 1	Faktor = 1
2 20% Bewegung	Faktor = 0.2	Faktor = 0.2
3 70% Bewegung, längs mit Schwelle	Faktor = 0 ... 0.7; Übergang zwischen 20 und 50 km/h	Faktor = 0.7
4 70% Bewegung quer, längs 50% mit höherer Schwelle	Faktor 0 ... 0.5; Übergang zwischen 35 und 65 km/h	Faktor = 0.7
5 Bewegungssystem deaktiviert	Faktor = 0	Faktor = 0

Tabelle 3.2-3: Erhebungszeiträume und Anzahl der Teilnehmer.

Konfiguration	Alternative	Datum	Stichprobe
1	5	KW 13: 24.03./25.03. KW 15: 16.04./17.04.	N=22
2	5	KW 11: 10.03./11.03. KW 15: 14.04./15.04.	N=20
3	5	KW 11: 12.03./13.03. KW 14: 31.03./01.04.	N=19
4	5	KW 12: 19.03./20.03. KW 13: 26.03./27.03.	N=23
5	--	KW 12: 17.03./18.03. KW 14: 02.04./03.04.	N=19

Tabelle 3.2-4: Absolute (NA) und prozentuale Ausfallraten (pA) der verschiedenen Konfigurationen im Verlauf des Trainings (a_x = Längsbeschleunigung, a_y = Querbeschleunigung).

Tag	Ü	Ausgangs-Konfiguration			20% a_x 20% a_y			70% a_x 70% a_y			70% a_x 50% a_y			Bewegungssystem deaktiviert		
		Nk	NA	pA	Nk	NA	pA	Nk	NA	pA	Nk	NA	pA	Nk	NA	pA
1	1	22	0	0.0	19	0	0.0	17	0	0.0	20	0	0.0	19	0	0.0
	2	22	3	13.6	19	1	5.3	18	0	0.0	20	1	5.0	17	0	0.0
	3	22	6	27.3	19	6	31.6	19	4	21.1	23	6	26.1	19	2	10.5
	4	22	7	31.8	19	9	47.4	17	3	17.6	23	5	21.7	17	0	0.0
2	5	18	4	22.2	20	3	15.0	17	2	11.8	23	3	13.0	17	2	11.8
	6	18	6	33.3	20	5	25.0	19	6	31.6	23	4	17.4	17	2	11.8
	7	18	9	50.0	20	10	50.0	18	4	22.2	23	5	21.7	14	2	14.3

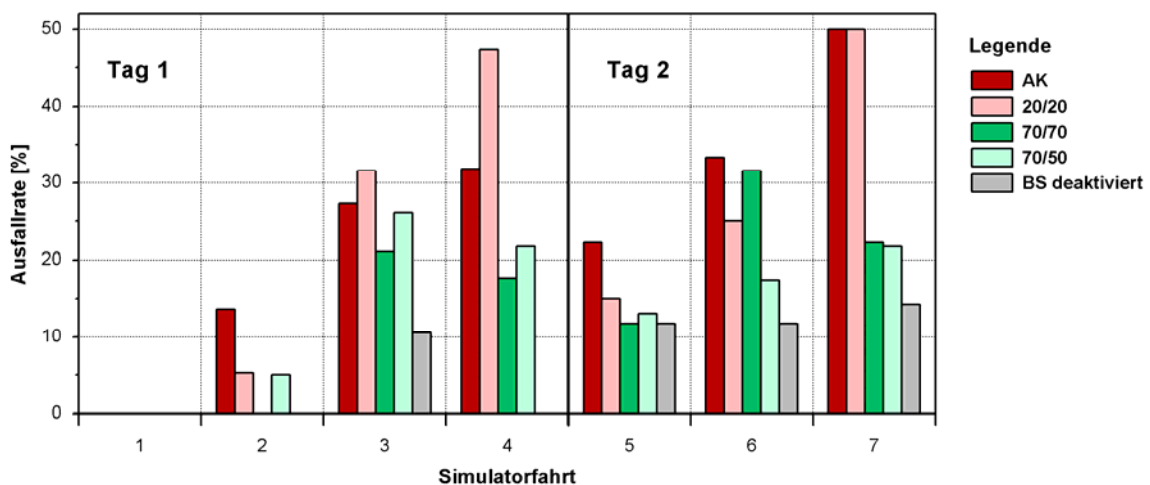


Abbildung 3.2-3: Ausfallraten bei unterschiedlichen Konfigurationen des Bewegungssystems.

Die Ergebnisse zum Vergleich der von RDE realisierten Varianten lassen sich stichpunktartig folgendermaßen zusammenfassen:

- Die in der geringeren Stichprobe (N=22) beobachteten Ausfallraten für die Ausgangskonfiguration bestätigen die im vorausgehenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse. Die Ausfallquoten liegen bei mehr als 30% am ersten Trainingstag und sogar bei 50% am zweiten Trainingstag. Für die Durchführung eines effizienten Trainings sind die Ausfallraten der Ausgangskonfiguration nicht akzeptabel.
- Die von RDE getroffene Annahme, eine deutliche Reduktion sowohl der Längs- als auch der Querdynamik vermindere die Ausfallraten, ließ sich nicht bestätigen. Vielmehr verschlimmert die Verminderung der Bewegung auf jeweils 20% in Längs- und Querrichtung (Konfiguration 2) die Symptomatik deutlich. Ausfallraten bis 50% an beiden Trainingstagen sind die Folge.
- In den Konfigurationen 3 und 4 sind Ausfallraten von ca. 20% (maximal 30%) zu beobachten. Beide Varianten stellen damit eine deutliche Verbesserung gegenüber den Konfigurationen 1 und 2 dar. Dennoch sind mit diesen Zahlen hohe Ausfallquoten zu verzeichnen.
- Bei Fahrten ohne Bewegungssystem (Variante 5) finden sich die geringsten Ausfallraten. Am ersten Trainingstag werden drei von vier Übungen von allen BiA absolviert, lediglich in zwei Fällen (10.5%) treten kinetosebedingte Ausfälle auf. Auch am Trainingstag 2 liegen die Ausfallquoten im Vergleich niedriger als in den Varianten mit aktiviertem Bewegungssystem.

3.2.3.2 Modifikation des Motion Tuning

Gegenüber den im vorausgehenden Abschnitt dargestellten Variationen des Bewegungssystems, die ausschließlich durch Veränderungen der Skalierungsfaktoren definiert wurden, sollten weitere Verbesserungen durch ein verändertes Motion Tuning erreicht werden. Dieses von RDE vorgenommene Neutuning des Bewegungssystems fand in KW 19 statt. Nach Ratte & Bock (2003) wurden hierbei folgende Änderungen vorgenommen:

- Verkürzung der Reaktionszeit für niederfrequente Bewegungsanteile
- unterschiedliche Schwellen und Verstärkung des hoch- und niederfrequenten Anteils für Längsbeschleunigungen
- starke Betonung der Translationsbewegung zur Darstellung von Querbeschleunigungen
- Ergänzung von stochastischen Anregungen zur Darstellung von Vibrationen und Fahrbahneinflüssen („kein schwebendes Fahrzeug“).

Die Auswirkungen des Neutunings waren Gegenstand der Untersuchungen in KW 20-30. Ziel war es, eine größere Stichprobe zu untersuchen, um die Aussagen ausreichend zu hinterlegen. Die nachfolgenden Auswertungen stützen sich auf eine Gesamtstichprobe von N=160 Trainingsteilnehmern. Die Gruppe setzte sich aus N=37 Frauen und N=124 Männern zusammen. Die Ausfallraten sind aufgeführt in Tabelle 3.2-5.

Eine Gegenüberstellung der Häufigkeiten zur Ausgangskonfiguration (Abbildung 3.2-4) zeigt, dass das Neutuning zu einer deutlichen Verbesserung führt. Nach den vorgenommenen Änderungen sind deutlich geringere Kinetose-Ausfälle zu verzeichnen. Dies führt dazu, dass mehr als Dreiviertel der Fahrschüler das Trainingsprogramm vollständig absolvieren.

Vergleicht man allerdings die Ausfallraten des Neutunings mit den „einfachen“ Änderungen der Skalierungsfaktoren des Bewegungssystems – nicht betrachtet wird dabei die Konfiguration 2 –, lassen sich keine systematischen Verbesserungen nachweisen. Die Ausfallraten liegen in vergleichbarer Höhe wie bei den Varianten 3 und 4.

Die niedrigen Ausfallhäufigkeiten der Fahrten ohne Bewegungssystem werden nicht erzielt (vgl. Abbildung 3.2-5). Bei diesem Vergleich ist allerdings zu berücksichtigen, dass den Daten der Beobachtungsreihe in KW11-15 deutlich geringere Stichproben zu Grunde liegen. Die Fragestellung, inwieweit sich die Ausfallraten durch Deaktivieren des Bewegungssystems weiter reduzieren lassen, wurde deshalb in einer weiteren Erhebung noch einmal systematisch aufgenommen (siehe Kapitel 5).

Tabelle 3.2-5: Absolute und prozentuale Ausfallraten des Neutunings.

Trainingstag	Übung	N (korrigiert)	Ausfall (N)	Ausfälle (%)
1	1	161	1	0.6
	2	161	8	5.0
	3	160	35	21.9
	4	161	40	24.8
2	5	158	10	6.3
	6	154	23	14.9
	7	146	34	23.3

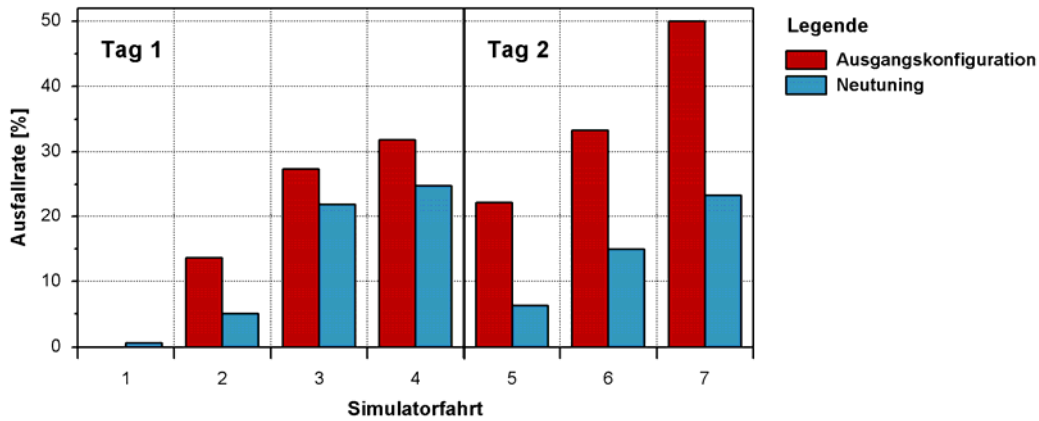


Abbildung 3.2-4: Vergleich von Ausgangskonfiguration und Neutuning.

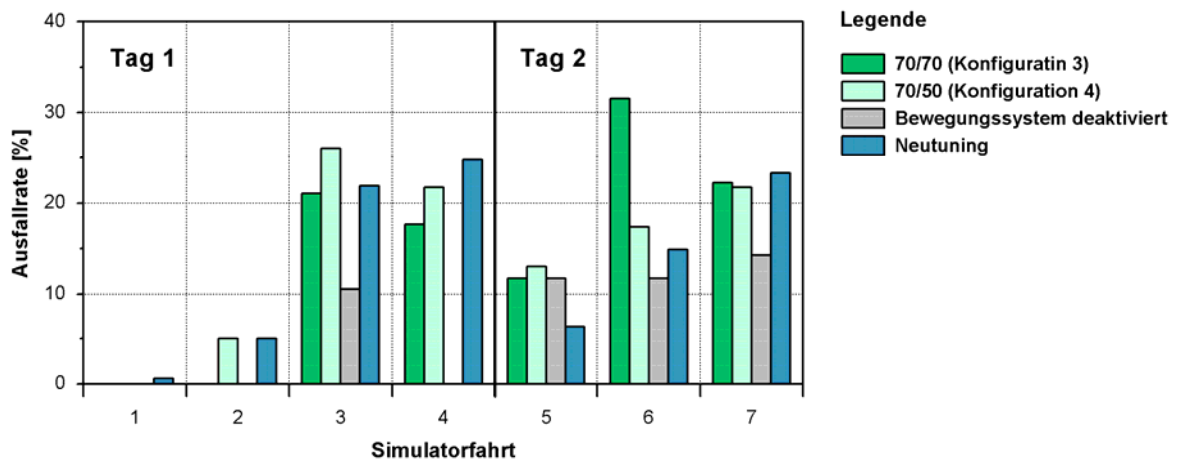


Abbildung 3.2-5: Vergleich der Ausfall-Häufigkeiten des Neutunings mit den Ausfallraten der Bewegungssystemvarianten der Beobachtungsreihe in KW 11-15.

4 Untersuchungsreihe II: Symptomatik, Inzidenz und Nachwirkungen

Mit der Betrachtung der Ausfallraten wird die Kinetose-Problematik in der Fahrsimulation nur unvollständig beschrieben, da allein die Fälle herangezogen werden, in denen es aufgrund extremer Beschwerden zu einem vorzeitigen Abbruch oder zum Nichtantritt einer Trainingsfahrt kommt. Ziel der Untersuchungsreihe II ist deshalb die nähere Analyse der während des zweitägigen Einsatztrainings in der Fahrsimulation auftretenden Kinetosebeschwerden. Zur Erfassung von Inzidenz und Ausprägung der Kinetosesymptomatik wird der in Kapitel 2.3.2.3 ausführlich beschriebene Simulator Sickness Questionnaire von Kennedy, Lane et al. (1993) eingesetzt. Neben der Analyse der SSQ-Scores erfolgt eine Untersuchung der Beschwerden auf Symptomebene. Geprüft wird, inwieweit die SSQ-Symptomstruktur, die anhand fliegerischer Stichproben erarbeitet wurde, auch für die Fahrsimulation Gültigkeit besitzt. Ergänzend zur akuten Post-Expositionssymptomatik werden weiterhin Angaben zur Dauer der Nachwirkungen erhoben. Untersucht wird außerdem der Einfluss individueller Faktoren des Geschlechts und der Kinetose-Disposition.

4.1 Methodischer Zugang

4.1.1 Trainingsplan

Die Datenerhebungen fanden während des regulären Trainingsablaufs statt, der im Folgenden nur kurz beschrieben wird. Für eine ausführliche Darstellung sei auf den Teilbericht I verwiesen. Innerhalb des Gesamttrainings nimmt die Simulation vier Unterrichtseinheiten ein (insgesamt 90 Minuten), von denen jeweils zwei an den beiden Trainingstagen absolviert werden. Das Simulatortraining wird in Zweierteams absolviert, wobei die Rollen von Fahrt zu Fahrt gewechselt werden. Der „Beifahrer“ beobachtet das Fahrtgeschehen am Mitschauplatz im Nebenraum und nimmt von dort aus seine Aufgaben wahr. Die Kommunikation erfolgt über Funk.

Tabelle 4.1-1: Übersicht über den Ablauf der Trainingsfahrten in den verschiedenen Datenbasen.

Tag	Trainingsfahrten	Dauer	Datenbasis
1	Demonstrationsfahrt (ta)	ca. 5 min	BAB
	Grundtraining (tl)	ca. 7 min	Land
	Einsatzfahrt (el)	ca. 7 min	Land
	Einsatzfahrt (s1)	ca. 5 min	Stadt
2	Einsatzfahrt (ea)	ca. 7 min	BAB
	Einsatzfahrt (s2)	ca. 9 min	Stadt
	Einsatzfahrt (s3)	ca. 8 min	Stadt

Der Trainingsplan für die Fahrten im Simulator umfasste im Erhebungszeitraum insgesamt sieben Übungen (siehe Tabelle 4.1-1). Am ersten Tag wird zu Beginn eine sehr kurze Eingewöhnungsfahrt auf der am wenigsten komplexen Strecke, der Bundesautobahn (BAB), durchgeführt. Die BiA sollen sich bei dieser Fahrt an den Umgang mit dem Simulator und insbesondere an das Lenk- und Bremsverhalten gewöhnen. Der Autobahnfahrt folgt eine Überlandfahrt ohne Sonder- und Wegerechte. Auch

diese Fahrt dient der Eingewöhnung, diesmal jedoch in einer komplexeren Umgebung. Im Anschluss daran absolvieren die BiA je eine Einsatzfahrt in den Datenbasen Land und Stadt. Am zweiten Trainingstag erfolgen eine Einsatzfahrt auf der Bundesautobahn und zwei weitere Einsatzfahrten in der Stadt.

4.1.2 Befragungsinstrumentarium und Ablauf der Untersuchung

Der für das Einsatztraining zusammengestellte Fragebogen diente der Erfassung des Ausgangszustands der BiA zu Beginn des Trainings, ihrer Bewegungsdisposition, der auftretenden Symptome der Simulatorkrankheit nach jeder Fahrt sowie der Erhebung von eventuell aufgetretenen Nachwirkungen. Ein Muster des Fragebogens befindet sich im Anhang unter Punkt 8.2. Der Fragebogen enthält die 16 Symptome des SSQ, die auf der ebenfalls dem SSQ entsprechenden vierstufigen Skala (gar nicht – etwas – mittel – stark) zu beurteilen sind. Tabelle 4.1-2 zeigt alle Symptome und die Beurteilungsskala des verwendeten Fragebogens. Den Skalenpunkten der SSQ-Skala wurden entsprechende Zahlenwerte zugeordnet (gar nicht=0, etwas=1, mittel=2 und stark=3).

Tabelle 4.1-2: Fragebogen zur Erfassung der SSQ-Symptome.

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Aussagen auf Sie zutreffen.

	gar nicht	etwas	mittel	stark
Allgemeines Unwohlsein				
Ermüdung				
angestrengte Augen				
erhöhter Speichelfluss				
Schwierigkeiten scharf zu sehen				
Übelkeit				
Konzentrationschwierigkeiten				
Kopfdruck				
verschwommenes Sehen				
Schwindel (Augen offen)				
Schwindel (Augen geschlossen)				
Aufstoßen				
Schwitzen				
Magen macht sich bemerkbar				
Kopfschmerzen				
Gleichgewichtsstörungen				

Der Ausgangszustandsbogen ist vom Trainingsteilnehmer direkt vor der ersten Simulatorfahrt an beiden Trainingstagen auszufüllen. Er enthält bereits alle 16 Symptome, um das Befinden der BiA direkt vor Beginn des Trainings zu erfassen. Mit offenen Fragen wird weiterhin erfasst, zu welcher Stunde der Trainingsteilnehmer aufgestanden ist, wie viele Stunden er geschlafen hat sowie wann er die letzte Mahlzeit zu sich genommen hat. Erfasst werden weiterhin mögliche Medikamenteneinnahmen.

Zusätzlich sind in den Ausgangszustandsbogen Fragen zur Bewegungsdisposition integriert. Der BiA wird auf einer fünfstufigen, kategorialen Skala bezüglich der Verträglichkeit von Situationen, in denen er passiver Bewegung ausgesetzt war, befragt (siehe Tabelle 4.1-3). Diese wurden ebenfalls numerisch codiert (sehr schlecht=1; schlecht=2; mittel=3; gut=4 und sehr gut=5) und weiterhin invertiert, so dass ähnlich der Schulnoten-Skala niedrige Werte einer guten Verträglichkeit entsprechen. Die vier Items „Achterbahn fahren“, „Karussell fahren“, „Schiffsreisen“ und „lange Mitfahrten im Auto oder Bus“ wurden aus dem MHQ abgeleitet. Ergänzt wurden vier weitere vier typische Bewegungssituationen.

Die Erfassung der Bewegungsdisposition anhand dieser acht Situationen erfolgte, um mögliche Zusammenhänge zwischen der Bewegungserfahrung und der Simulator Sickness untersuchen zu können.

Tabelle 4.1-3: Items zur Erfassung der Bewegungsdisposition, die vor Beginn des Trainings zu beurteilen sind und in den Ausgangszustandsbogen integriert wurden. Die Trainingsteilnehmer kreuzen an, wie gut sie die genannten Situationen vertragen.

	sehr schlecht	schlecht	mittel	gut	sehr gut
Achterbahn fahren					
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw					
Im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen					
Karussell fahren					
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit					
Lange Mitfahrten im Auto oder Bus					
Lesen während der Mitfahrt im Pkw					
Schiffsreisen					

Nach jeder Simulatorfahrt füllt der BiA den Symptomerfassungsbogen aus. Im Titel des Fragebogens ist der jeweilige Fahrname vermerkt (z.B. Trainingsfahrt Land, Einsatzfahrt Stadt I), um eine eindeutige Zuordnung der Symptomangaben zu den einzelnen Fahrten zu ermöglichen. Zu Beginn dieses Fragebogens dokumentiert jeder Trainingsteilnehmer die gerade absolvierte Fahrt hinsichtlich des Zustands des Bewegungssystems (aktiviert/nicht aktiviert) und der Vollständigkeit der Fahrt (vollständig absolvierte/abgebrochene Fahrt). Im Falle eines Fahrabbruchs ist anzugeben, nach wie vielen Minuten das Training abgebrochen wurde. Weiterhin beurteilt der Trainingsteilnehmer die in Tabelle 4.1-2 genannten 16 Symptome hinsichtlich ihrer Ausprägung auf der beschriebenen vierstufigen Skala.

Zu Beginn des zweiten Trainingstags ist der Nachwirkungsbogen zu beantworten. Dieser erfasst zunächst generell, ob der BiA am Vortag nach dem Simulatortraining andauernde Beschwerden hatte (ja/nein). Bejaht er diese Frage, sind die einzelnen Symptome dahingehend zu beurteilen, ob sie als Nachwirkung aufgetreten sind (ja/nein) und wenn ja, wie lange sie angedauert haben. Die Dauer soll dabei auf der nachfolgend abgebildeten Skala angegeben werden (Abbildung 4.1-1). Bei der Dateneingabe wurde die entsprechende Stundenzahl codiert (bis zu 1 Stunde=1; bis zu 2 Stunden=2; (...); > 6 Stunden=7). Zur Vermeidung von fehlenden Werten in der Datenmatrix, wurde bei den BiA, die ein Nachwirkungssymptom als nicht vorhanden ankreuzten, die Dauer des entsprechenden Symptoms mit 0 (0=0h) codiert. Einige BiA vermerkten ein Symptom als vorhandene Nachwirkung, vergaßen jedoch die entsprechende Dauer zu spezifizieren. In diesen Fällen wurde für die Nachwirkung die geringste Dauer (=bis zu 1 Stunde) angenommen.

Allgemeines Unwohlsein? ja nein

Bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Abbildung 4.1-1: Ausschnitt aus dem Nachwirkungsbogen: Skala zur Erfassung der Dauer der Nachwirkungen am Beispiel des Symptoms "Allgemeines Unwohlsein".

Da insgesamt sieben Fahrten zu absolvieren sind, sollten zum Schluss von jedem BiA auch sieben Symptomerfassungsbögen vorliegen. Weiterhin sollten für jeden BiA zwei Ausgangszustandsbögen (Tag 1/Tag 2) vorliegen und ein Nachwirkungsbogen. Tabelle 4.1-4 fasst die zu den entsprechenden Zeitpunkten erhobenen Daten zusammen. Zur Gewährleistung einer genauen Zuordnung der ausgefüllten Fragebögen zu den einzelnen Trainingsteilnehmern vermerkten die BiA das Datum und einen anonymisierten Fahrercode auf jedem Bogen.

Tabelle 4.1-4: Übersicht der Erhebungszeitpunkte und der erfassten Daten.

Erhebungszeitpunkt	Fragebogen	Erfasste Daten
Tag 1	vorher	Ausgangszustand Disposition
	während	Symptomerfassung Fahrt 1-4
Tag 2	vorher	Nachwirkungen Ausgangszustand
	während	Symptomerfassung Fahrt 5-7

Bei der Auswertung der Fragebögen zu den sieben Trainingsfahrten fehlen im Falle nicht angetretener Fahrten (teilweise auch bei Fahrtabbrüchen) Angaben zu den einzelnen Symptombeurteilungen. In der Auswertung werden diese fehlenden Werte durch die Angaben zur jeweils zuletzt gefahrenen Trainingsfahrt ersetzt, um dem Problem der Mortalität⁹ zu begegnen. Diese ersetzten Daten liegen sowohl den Berechnungen zu den einzelnen SSQ-Scores zugrunde als auch allen Analysen auf Einzelsymptomebene. Zu beachten ist, dass die wahren Ausprägungen aufgrund dieses Vorgehens unterschätzt werden, da anzunehmen ist, dass die Symptome bei nochmaliger Exposition eher noch stärkere Ausprägungen zeigen.

Alle Analysen wurden mit Hilfe des Programms SPSS (Version 13.0) ausgeführt. Lediglich die hierarchischen Faktorenanalysen und die Scatterplots wurden in STATISTICA 7.1 berechnet.

4.1.3 Stichprobenbeschreibung

Im Erhebungszeitraum vom 24.09.2003 bis zum 05.02.2004 nahmen insgesamt n=255 BiA am Fahrsimulationstraining teil. Von der Auswertung ausgeschlossen wurden allgemein alle BiA, bei denen sich aus den bereits im Ausgangszustand vorhandenen Symptomen und/oder der Medikamenteneinnahme Hinweise auf eine Erkrankung ergaben, weil bei diesen Personen die eventuell während der Trainingsfahrten auftretenden Symptome nicht allein auf die Simulatorexposition zurückgeführt werden können. Dies war bei vier BiA der Fall. Ein weiterer Trainingsteilnehmer absolvierte am ersten Tag ohne Beschwerden alle vier Fahrten. Da er am zweiten Tag aus nicht näher beschriebenen Gründen keine der Fahrten durchführte, wurden auch seine Angaben von der Auswertung ausgeschlossen. Aufgrund technischer Probleme führten n=25 BiA das Training teilweise mit aktiviertem Bewegungssystem und teilweise ohne Bewegungssystem durch. Da zur Untersuchung der Symptomatik alle Trainingsteilnehmer durchgängig mit aktiviertem Bewegungssystem fahren sollten, wurden auch diese n=25 BiA nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Somit wurden letztendlich die Daten von n=224 BiA analysiert. Hierbei handelte es sich um n=158 Männer und n=62 Frauen. Bei vier Trainingsteilnehmern fehlten die Angaben zum Geschlecht. Das durchschnittliche Alter der untersuchten Stichprobe betrug ca. 22 Jahre (sd=2.10). Die BiA fuhren im Zeitraum des letzten Jahres vor ihrer Teilnahme am Simulatortraining im Mittel 21304 km (sd=9723).

⁹ Berechnet man die Statistiken pro Fahrt jeweils über die tatsächlich angetretenen Teilnehmer, würden die Beschwerden im Verlauf des Trainings im Mittel abnehmen, da nur noch Fahrer einbezogen werden, die das Simulatortraining gut vertragen, und die Kinetose-Ausfälle mit starken Beschwerden nicht mehr berücksichtigt werden.

4.2 Ergebnisse

Zunächst werden im ersten Abschnitt die simulatorkrankheitsbedingten Ausfallraten im Verlauf des Trainings berichtet. Dabei werden mögliche Zusammenhänge zur Disposition und zum Geschlecht der Trainingsteilnehmer berücksichtigt (Kapitel 4.2.1). Die folgenden zwei Abschnitte beinhalten eine ausführliche Analyse der während des Trainings aufgetretenen Symptomatik. Die Datenerhebung ermöglicht den direkten Vergleich mit dem in der Literatur häufig eingesetzten Simulator Sickness Questionnaire (Kennedy, Lane et al., 1993). So wird die Symptomatik zunächst anhand der SSQ-Skalen NAUSEA, OCULOMOTOR, DISORIENTATION und TOTAL SCORE dargestellt (Kapitel 4.2.2). Danach werden die Simulatorkrankheitsbeschwerden auf Einzelsymptomebene betrachtet (Kapitel 4.2.3). Auf beiden Ebenen werden die auftretenden Beschwerden zuerst für die Gesamtstichprobe gezeigt. Weiterhin wird die Symptomatik von Frauen und Männern gegenübergestellt sowie bei Vollständig-Fahrern und Trainingsabbrechern verglichen. Mögliche Zusammenhänge zur Disposition werden ebenfalls auf beiden Ebenen berücksichtigt und dargestellt.

Der vierte Abschnitt des Ergebnisteils beschäftigt sich mit der Beschreibung der nach Ende des Trainings an Tag 1 aufgetretenen länger dauernden Nachwirkungen (Kapitel 4.2.4). Diese werden für die Gesamtstichprobe, Frauen/Männer und Trainingsabbrecher/Vollständig-Fahrer auf Einzelsymptomebene hinsichtlich Häufigkeit und Dauer dargestellt. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Prüfung des Zusammenhangs zwischen der Stärke der Symptomausprägungen des ersten Tages und der Dauer der Nachwirkungen sowie der Auswirkungen der Nachwirkungsdauer auf den Ausgangszustand am zweiten Trainingstag berichtet.

Der letzte Abschnitt (Kapitel 4.2.5) widmet sich der Frage der Symptomstruktur der in der Fahrsimulation auftretenden Beschwerden. Analog zum Vorgehen von Kennedy, Lane et al. erfolgt eine fakto-
renanalytische Überprüfung.

4.2.1 Ausfallraten

4.2.1.1 Gesamtstichprobe

Während des Trainings kam es aufgrund von Simulatorkrankheitsbeschwerden zu Fahrtausfällen. Von insgesamt $n=1568$ Fahrten wurden 1376 (87.76%) vollständig gefahren, 64 (4.08%) abgebrochen und 128 (8.16%) nicht gefahren. Abbildung 4.2-1 zeigt die Ausfallhäufigkeiten aufgrund der Simulatorkrankheit für die einzelnen Fahrten. An beiden Tagen sind die Ausfallraten in der ersten Fahrt am geringsten und steigen dann im Verlauf der folgenden Fahrten weiter an.

Dabei ist der Ausfall an Tag 1 am höchsten in den letzten beiden Fahrten (e1 und s1). Diese zwei Einsatzfahrten haben die gleiche Ausfallrate (17.9%). Jedoch kommt der Ausfall in der Land-Einsatzfahrt hauptsächlich durch Fahrtabbrüche zustande, während die Hauptursache für den Ausfall in der Stadt-Einsatzfahrt nicht angetretene Fahrten aufgrund von Kinetose sind (siehe Tabelle 4.2-1). Der größte simulatorkrankheitsbedingte Ausfall tritt im Vergleich aller sieben Fahrten in der letzten Übung an Tag 2 auf (s3). Rund 20% der BiA ($n=45$) absolvieren diese Übung überhaupt nicht. Weitere 3% der BiA ($n=7$) beginnen diese Fahrt immerhin noch, verlassen aber kurz darauf den Simulator vorzeitig wegen kinetosebedingter Beschwerden.

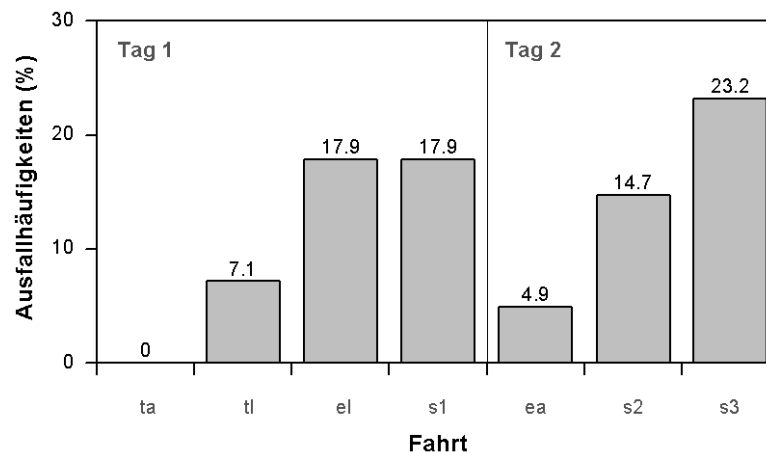


Abbildung 4.2-1: Ausfallhäufigkeiten pro Fahrt für die Gesamtstichprobe (n=224 BiA).

Tabelle 4.2-1: Aufschlüsselung der Ausfälle für die einzelnen Fahrten.

	Fahrt	vollständig	abgebrochen	nicht gefahren	N	Ausfall (%)
Trainingstag 1	Training BAB (ta)	224	0	0	224	0.00
	Training Land (tl)	208	14	2	224	7.14
	Einsatz Land (el)	184	22	18	224	17.86
	Einsatz Stadt (s1)	184	7	33	224	17.86
Trainingstag 2	Einsatz BAB (ea)	213	6	5	224	4.91
	Einsatz Stadt (s2)	191	8	25	224	14.73
	Einsatz Stadt (s3)	172	7	45	224	23.21

Weiterhin stellt sich die Frage, ob diejenigen, die das Training an Tag 1 abbrechen, dieselben sind, die auch am zweiten Tag das Simulatortraining vorzeitig beenden. Tabelle 4.2-2 zeigt, dass dies bei n=34 BiA so ist. Während n=15 BiA am ersten Tag im Verlauf des Trainings ausfallen und am zweiten Tag alle drei Fahrten durchführen, trifft der umgekehrte Fall für n=18 BiA zu. Damit führen das Training etwa 70% der angetretenen BiA vollständig durch.

Tabelle 4.2-2: Übersicht der absoluten Häufigkeiten für Trainingsabbrüche an beiden Tagen.

Training abgebrochen?		Tag 2		Σ
		ja	Nein	
Tag 1	ja	34	15	49
	nein	18	157	175
	Σ	52	172	224

4.2.1.2 Einflüsse individueller Faktoren

4.2.1.2.1 Geschlecht

Eine Betrachtung der Ausfallraten unter dem Aspekt der Geschlechtsunterschiede zeigt Abbildung 4.2-2. Am ersten Tag fahren beide Gruppen die Bundesautobahn-Trainingsfahrt (ta) noch vollständig. Ab der zweiten Fahrt kommt es sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern zu Fahrtausfällen, wobei die Ausfallhäufigkeiten der Frauen bei allen Fahrten höher sind. Im Verlauf sind die Ausfallraten bei den Frauen jeweils zu Beginn eines Trainingstages am geringsten und steigen bis zur letzten

Fahrt kontinuierlich an. Die Gruppe der männlichen BiA weist den gleichen ansteigenden Verlauf am zweiten Trainingstag auf. Jedoch liegt bei diesen am ersten Tag die maximale Ausfallrate nicht in der Stadt-Einsatzfahrt, sondern in der Land-Einsatzfahrt. Bei beiden Gruppen ist der Ausfall im Verlauf aller sieben Fahrten in der dritten Stadt-Einsatzfahrt (s3) am größten.

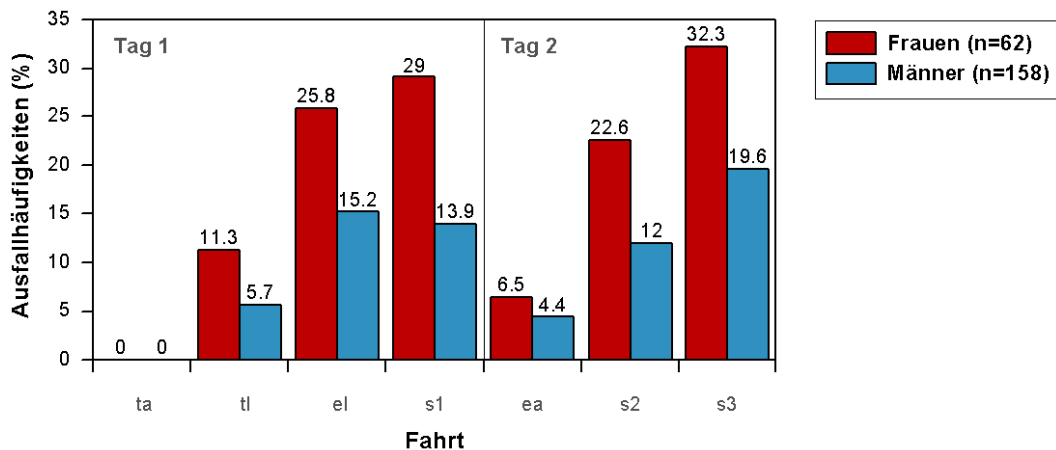


Abbildung 4.2-2: Ausfallraten in Abhängigkeit vom Geschlecht.

4.2.1.2.2 Disposition

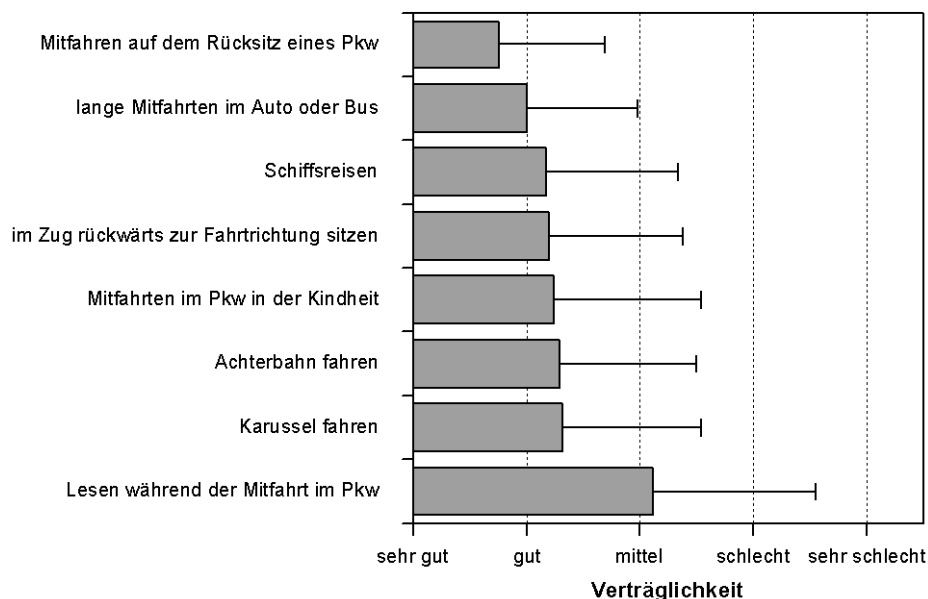


Abbildung 4.2-3: Mittelwerte und Standardabweichungen für die einzelnen Dispositionitems.

Die Angaben der Trainingsteilnehmer zu bisherigen Erfahrungen mit einzelnen Bewegungssituationen zeigen, dass diese kaum Probleme mit Situationen haben, in denen sie passiver Bewegung ausgesetzt sind (siehe Abbildung 4.2-3). Am besten vertragen die BiA das „Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw“. Nur mittelmäßig vertragen wird das „Lesen während der Mitfahrt im Pkw“. Für alle anderen Dispositionitems liegt die Verträglichkeit im Bereich von ‚sehr gut‘ bis ‚gut‘. Die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Items sind linksschief (siehe das Beispiel „Achterbahn fahren“ in Abbildung 4.2-4), d.h. mindestens 50% der Trainingsteilnehmer geben die Verträglichkeit bezüglich der einzel-

nen Bewegungssituationen mit ‚sehr gut‘ oder ‚gut‘ an. Einzige Ausnahme diesbezüglich ist das Item ‚Lesen während der Mitfahrt im Pkw‘. Fast ein Viertel der BiA verträgt diese Bewegungssituation nur ‚sehr schlecht‘ (siehe Abbildung 4.2-4), weitere 18.3% ‚schlecht‘, ca. 21% vertragen das Lesen im Pkw während der Fahrt ‚mittel‘ und jeweils 18.3% beurteilen diese Bewegungssituation als ‚gut‘ oder ‚sehr gut‘ verträglich.

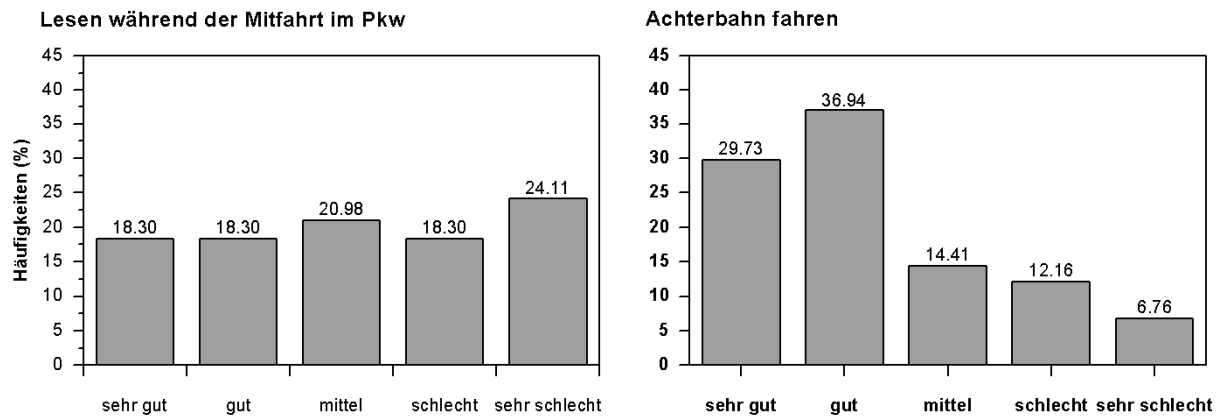


Abbildung 4.2-4: Häufigkeitsverteilung für die Beurteilung des Dispositionitems ‚Lesen während der Mitfahrt im Pkw‘ und ‚Achterbahn fahren‘ (n=224).

Um einen einzelnen Wert zur Beurteilung der Bewegungsdisposition zu erhalten, wurden die Angaben zu den acht Dispositionitems pro BiA zu einem Summenwert addiert. Bei der vorliegenden fünfstufigen Skala (Werte von 1-5) und den acht Items ist 8 der kleinste mögliche Wert, den dieser Dispositionsscore annehmen kann, und der größte mögliche Wert ist 40. Dementsprechend verträgt jemand mit einem Dispositionsscore von 8 alle aufgeführten Bewegungssituationen sehr gut, während ein Score von 40 eine sehr schlechte Verträglichkeit der acht Bewegungssituationen anzeigt. Im Mittel weist die hier untersuchte Stichprobe einen Dispositionsscore von 18.09 (sd=6.83) auf, was eine gute Verträglichkeit der Bewegungssituationen verdeutlicht. Dieser Mittelwert bezieht sich auf die Angaben von N=213 BiA, da einige der Trainingsteilnehmer nicht alle acht Dispositionitems beurteilt haben und aufgrund dieser fehlenden Werte kein Summenwert berechnet werden konnte. Die nachfolgende Tabelle 4.2-3 zeigt die deskriptiven Angaben für den Dispositionsscore.

Tabelle 4.2-3: Deskriptive Statistik für den Dispositionsscore.

	n	min	max	m	sd	p25	p50	p75
Dispositionsscore	213	8	38	18.09	6.83	13	17	22

Die Betrachtung der Ausfallraten und der weiter oben schon beschriebenen Bewegungsdisposition führt zu der Überlegung, dass diejenigen, die Fahrten abbrechen und/oder keine weiteren Fahrten antreten, aufgrund ihrer bisherigen schlechten Verträglichkeit von Bewegungssituationen für die Simulatorkrankheit prädisponiert sein könnten. Dementsprechend liegt es nahe, die Stichprobe anhand der Ausfälle vom ersten Trainingstag in eine Gruppe mit Abbrechern/Nicht-Fahrern (n=49) und eine Gruppe mit Vollständig-Fahrern (n=175) aufzuteilen und mögliche Unterschiede in den Dispositionitems zu überprüfen. Abbildung 4.2-5 zeigt deutlich, dass die Gruppenmittelwerte bei den einzelnen Items deutlich auseinander fallen.

In den durchgeführten t-Tests zeigen sich bei allen acht Dispositionitems signifikante Unterschiede der Gruppenmittelwerte (Tabelle 4.2-4). Die Gruppe der Abbrecher/Nicht-Fahrer verträgt also die einzelnen Bewegungssituationen signifikant schlechter als die Gruppe der Vollständig-Fahrer. Das gleiche Ergebnis zeigt sich auch für den Dispositionsscore ($T[211]=-7.010$, $p=.000$). Auch hier haben die Abbrecher/Nicht-Fahrer ($m=23.66$, $se=0.90$, $n=47$) einen signifikant größeren Mittelwert im Vergleich zu den Vollständig-Fahrern ($m=16.52$, $se=0.48$, $n=166$).

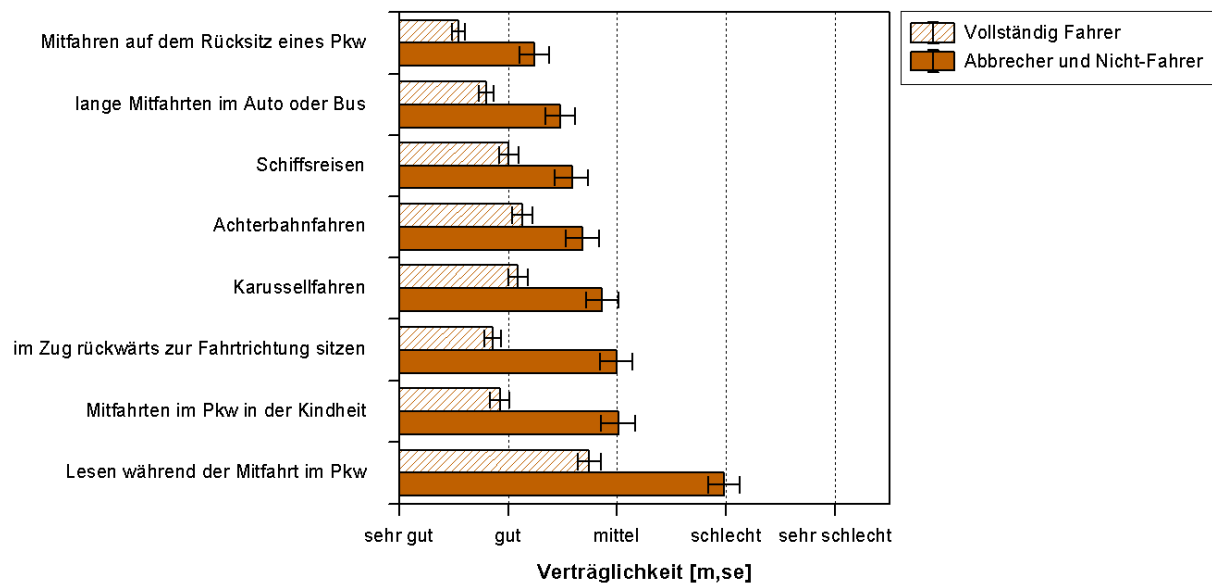


Abbildung 4.2-5: Mittelwerte und Standardfehler der einzelnen Dispositionssitems für die Gruppe der Abbrecher/Nicht-Fahrer ($n=49$) und die Gruppe der Vollständig-Fahrer ($n=175$).

Tabelle 4.2-4: Ergebnisse der t-Tests für die Mittelwertsunterschiede zwischen der Gruppe der Abbrecher/Nicht-Fahrer und der Gruppe der Vollständig-Fahrer bei den einzelnen Dispositionssitems und dem Dispositionsscore.

	Levene-Test		T-Test für die Mittelwertgleichheit		
	F	p	T	df	p
Achterbahn fahren	3.196	0.075	-2.812	220.000	0.005
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw	8.126	0.005	-4.286	65.525	0.000
im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen	2.625	0.107	-5.740	222.000	0.000
Karussell fahren	0.917	0.339	-3.430	222.000	0.001
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit	1.776	0.184	-5.846	220.000	0.000
lange Mitfahrten im Auto oder Bus	6.450	0.012	-4.676	67.010	0.000
Lesen während der Mitfahrt im Pkw	9.256	0.003	-6.998	100.622	0.000
Schiffsreisen	5.527	0.020	-3.793	64.593	0.000
Dispositionsscore	0.176	0.675	-7.010	211.000	0.000

4.2.1.2.3 Geschlecht und Disposition

Im Folgenden werden mögliche Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der einzelnen Dispositionssitems betrachtet. Eine Darstellung der jeweiligen Mittelwerte und Standardfehler für die acht Items getrennt für Frauen und Männer zeigt Abbildung 4.2-6. Die in der Abbildung deutlich zu erkennenden Geschlechtsunterschiede bezüglich der Verträglichkeit werden bei sechs der acht Bewegungssituationen durch t-Tests abgesichert (Tabelle 4.2-5). Frauen und Männer vertragen demnach die Bewegungssituationen „Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw“, „im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen“, „Mitfahrten im Pkw in der Kindheit“, „lange Mitfahrten im Auto oder Bus“, „Lesen während der Mitfahrt im Pkw“ und „Schiffsreisen“ signifikant unterschiedlich, wobei die Frauen die Verträglichkeit aufgrund ihrer bisherigen Erfahrungen in diesen Bewegungssituationen schlechter bewerten als die Männer. Keine Geschlechtsunterschiede zeigen sich bei den Dispositionssitems „Achterbahn fahren“ und „Karussell fahren“.

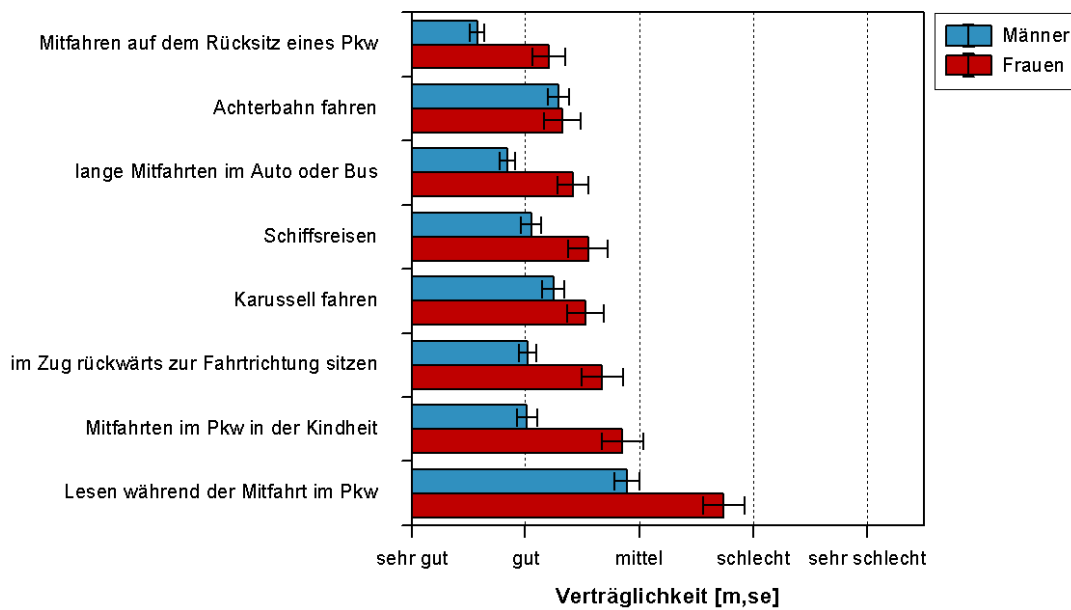


Abbildung 4.2-6: Mittelwerte und Standardfehler der einzelnen Dispositionssitems getrennt für Männer (n=158) und Frauen (n=62).

Tabelle 4.2-5: Ergebnisse der t-Tests zu den Geschlechtsunterschieden bei den einzelnen Dispositionssitems.

	Levene-Test		T-Test		
	F	p	T	df	p
Achterbahn fahren	0.703	0.403	-0.191	216.000	0.849
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw	16.086	0.000	-4.088	84.471	0.000
im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen	26.849	0.000	-3.324	86.637	0.001
Karussell fahren	0.385	0.535	-1.570	218.000	0.118
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit	11.452	0.001	-4.109	92.284	0.000
lange Mitfahrten im Auto oder Bus	8.623	0.004	-3.786	95.062	0.000
Lesen während der Mitfahrt im Pkw	0.245	0.621	-4.099	218.000	0.000
Schiffsreisen	8.416	0.004	-2.571	86.169	0.012

Betrachtet man die einzelnen Häufigkeitsverteilungen der Dispositionssitems getrennt für Männer und Frauen, so zeigen sich ähnlich wie für die Gesamtstichprobe bei den Männern linksschiefe Verteilungen bei allen Items bis auf das „Lesen während der Mitfahrt im Pkw“. Auch bei den Frauen sind die Angaben zu den einzelnen Dispositionssitems linksschief verteilt, aber nicht mehr so deutlich wie bei den Männern. Der größte Unterschied zeigt sich bei dem Item „Lesen während der Mitfahrt im Pkw“: während bei den Männern die dazugehörige Häufigkeitsverteilung fast symmetrisch ist, ist sie bei den Frauen deutlich rechtsschief.

Die insgesamt schlechtere Verträglichkeit für Bewegungssituationen spiegelt sich auch in einem höheren Mittelwert beim Dispositionsscore für die Frauen im Vergleich zu den Männern wider. Tabelle 4.2-6 zeigt die deskriptiven Statistiken für den Dispositionsscore getrennt für die beiden Geschlechter. Der durchgeführte t-Test belegt, dass Frauen einen signifikant höheren Dispositionsscore im Vergleich zu den Männern aufweisen ($T=-4.16$, $df= 87.71$, $p=.000$).

Tabelle 4.2-6: Deskriptive Statistiken für den Dispositionsscore getrennt für Männer und Frauen.

Dispositionsscore	n	min	max	m	sd	p25	p50	p75
Männer	152	8	38	16.89	6.09	12	16	21
Frauen	58	8	36	21.45	7.44	15	22	27

4.2.2 Symptomatik: SSQ-Scores

Ausfallraten von ca. 20% weisen auf ein massives Simulatorkrankheitsproblem hin, weshalb nachfolgend die während des Trainings aufgetretenen Beschwerden ausführlich dargestellt werden. Um einen Vergleich zu den in der Literatur berichteten Werten zu ermöglichen, werden die im SSQ spezifizierten Subskalen- bzw. Gesamtscores herangezogen.

4.2.2.1 Kennedy Scores im Ausgangszustand

Kennedy, Lane et al. (1993) betonen ausdrücklich, dass die Berechnung der SSQ-Scores nur für Post-Expositionsdaten erfolgen soll. Da aber der Ausgangszustand mit erfasst wurde, um einen Prä-Post-Vergleich zu ermöglichen, wurden die SSQ-Skalenscores auch für den Ausgangszustand berechnet. Diese Werte sind für die Gesamtstichprobe in Abbildung 4.2-7 dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die BiA besonders am ersten Trainingstag, aber auch am zweiten, schon ausgeprägte Scores aufweisen, bevor sie mit dem Training beginnen.

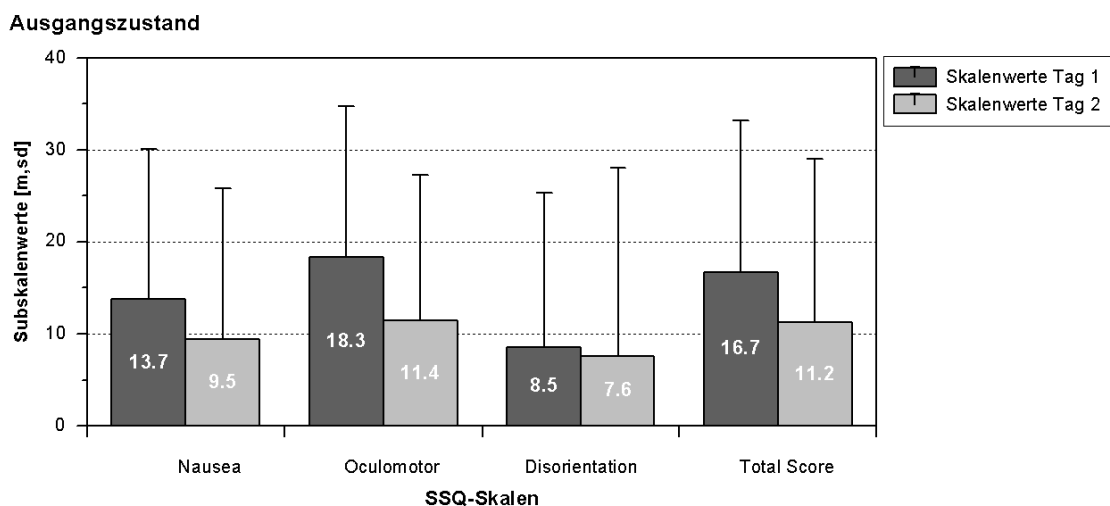


Abbildung 4.2-7: Mittelwerte und Standardabweichungen der SSQ-Skalenscores für die Gesamtstichprobe im Ausgangszustand an beiden Trainingstagen.

Bei der Betrachtung der recht hohen Mittelwerte in Abbildung 4.2-7 fällt auf, dass einige BiA schon im Ausgangszustand Werte >20 bei einzelnen Skalen aufweisen, was nach Kennedy, Lane et al. (1992) bereits auf einen kritischen Zustand hindeutet (siehe unter 2.3.2.3.2). Tabelle 4.2-7 listet die entsprechenden Häufigkeiten auf. Die Werte der OCULOMOTOR-Skala sind an beiden Tagen am häufigsten (bei 39% der Stichprobe) und schon im Ausgangszustand deutlich >20 ausgeprägt. Die wenigsten BiA zeigen dagegen vor dem Training an beiden Tagen bei der DISORIENTATION-Skala einen Wert >20 .

Um den vorliegenden Befund näher zu analysieren und zu erklären, sind Betrachtungen auf der Ebene der Einzelsymptome notwendig. Dieser Punkt wird deshalb in Kapitel 4.2.3.1 noch einmal aufgegriffen.

Aufgrund dieses Befundes müssten die weiteren Berechnungen der Scores anhand der Differenzwerte zum Ausgangszustand erfolgen. Von diesem Vorgehen wird jedoch an dieser Stelle abgesehen, um eine Vergleichbarkeit zu den in der Literatur berichteten Werten zu gewährleisten.

Tabelle 4.2-7: Absolute und prozentuale Häufigkeiten der BiA, die bei den einzelnen SSQ-Skalen einen Score >20 schon im Ausgangszustand erreichen.

SSQ-Subskala	Tag 1		Tag 2	
	n	%	N	%
N-Score >20	54	24.66	30	13.64
O-Score >20	86	38.74	46	20.81
D-Score >20	35	15.91	26	11.76
Total Score >20	71	32.72	38	17.35

4.2.2.2 Kennedy Scores während des Trainings

Abbildung 4.2-8 zeigt den Verlauf der SSQ-Subskalen für die Gesamtstichprobe über alle Fahrten, die Werte des Gesamtscores sind der Abbildung 4.2-9 zu entnehmen. Die Scores sind an beiden Tagen jeweils zu Trainingsbeginn am niedrigsten und bei der letzten Fahrt am höchsten. Die stärkste Ausprägung tritt bei der DISORIENTATION-Skala auf mit Scores, die in jeder Fahrt deutlich >20 sind. Bis auf die erste Fahrt (ta) zeigt sich ein stabiles Symptomprofil: D>N>O. In der ersten Fahrt, der Trainingsfahrt-Bundesautobahn (ta), ist die OCULOMOTOR-Skala etwas stärker ausgeprägt als die NAUSEA-Skala.

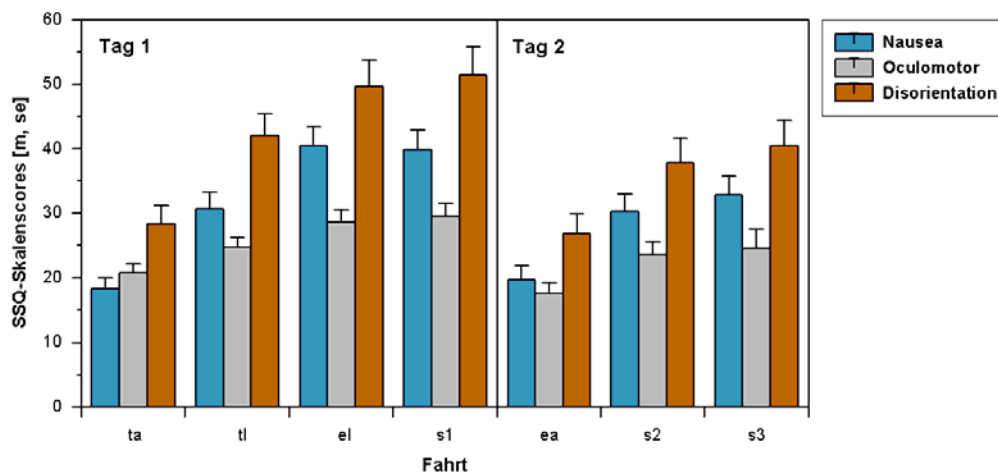


Abbildung 4.2-8: Mittelwerte und Standardfehler der SSQ-Skalen im Verlauf des Trainings für die Gesamtstichprobe (n=224).

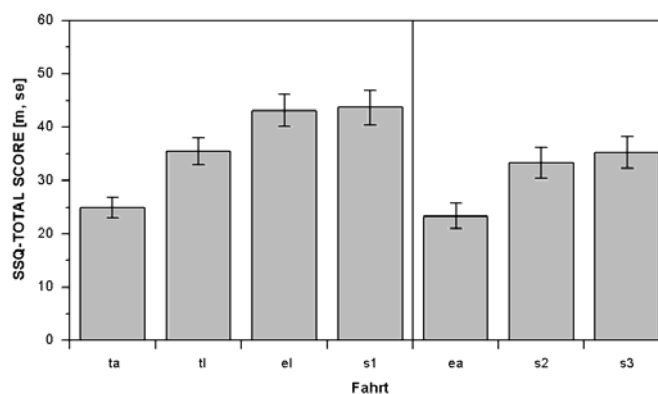


Abbildung 4.2-9: Mittelwerte und Standardfehler des SSQ-TOTAL SCORE im Verlauf des Trainings für die Gesamtstichprobe (n=224).

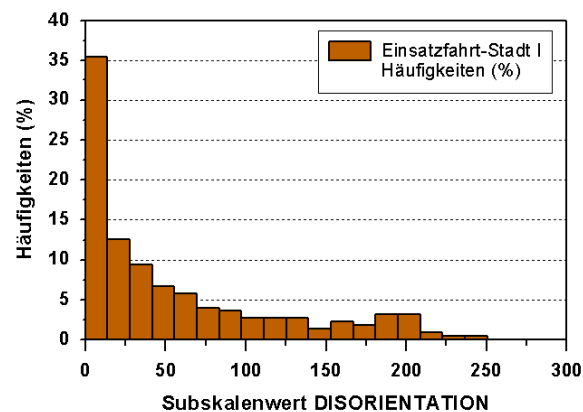


Abbildung 4.2-10: Häufigkeitsverteilung der SSQ-Subskala DISORIENTATION für die Einsatzfahrt-Stadt I (s1) der Gesamtstichprobe (n=223) am ersten Trainingstag.

Die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen SSQ-Scores sind durchgängig positiv schief, was beispielhaft in Abbildung 4.2-10 für die Subskala DISORIENTATION in der vierten Fahrt des ersten Tages (Einsatzfahrt-Stadt I – s1) gezeigt ist. Es ist deutlich zu erkennen, dass bei den einzelnen Skalen mehr als 50% der BiA einen Score haben, der unterhalb des jeweiligen Mittelwertes liegt, was darüber hinwegtäuscht, dass einige BiA sehr hohe Skalenwerte erreichen (>200). Aufgrund der schiefen Verteilung wären Mediane bzw. unterschiedliche Perzentile besser geeignete Lagemaße. Da es jedoch – wie man auch an den in der Literaturanalyse dargestellten Befunden sehen kann – der gängigen Vorgehensweise entspricht, die Mittelwerte einzelner Skalen zu berichten, werden in den folgenden Analysen ebenfalls mittlere Ausprägungen angegeben.

Um dennoch einen vollständigen Eindruck über das Ausmaß der Krankheitsbeschwerden in der Fahrsimulation zu gewinnen, sind in Abbildung 4.2-11 unterschiedliche Perzentile (Bereich 40-99%) im Vergleich zu den von Kennedy, Lane et al. (1993) berichteten Werten aufgetragen. Grundlage dieser Darstellung sind die Symptomausprägungen der letzten Fahrten beider Trainingstage. Zu sehen ist, dass die Scores gegenüber der fliegerischen Eichstichprobe massiv erhöht sind. Dies gilt vor allem für die Subskalen DISORIENTATION und NAUSEA, aber auch den TOTAL SCORE.

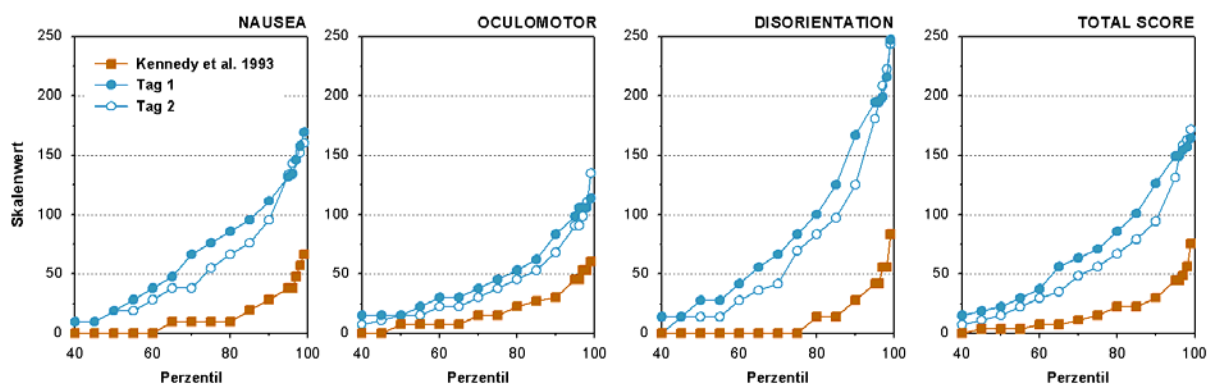


Abbildung 4.2-11: Vergleich der Perzentile der SSQ-Skalenwerte der Flugsimulatoren-Stichprobe (Kennedy, Lane et al., 1993) und des Einsatzfahrt-Simulators.

4.2.2.3 Kennedy-Scores und Geschlecht

Bereits in den Ausfallraten (vgl. Punkt 4.2.1.2.1) wurde deutlich, dass das Geschlecht einen wesentlichen Faktor darstellt, der das Ausmaß der Simulatorkrankheit beeinflusst. Inwieweit sich dies auch in den SSQ-Skalenscores widerspiegelt, ist Gegenstand der folgenden Analyse. Abbildung 4.2-12 und Abbildung 4.2-13 zeigen hierzu die Verlaufskurven für die vier Skalen des SSQ getrennt für die Subgruppen. Wie bei der Betrachtung der Gesamtstichprobe wird für beide Geschlechtsgruppen ein Anstieg der Scores im Verlauf der einzelnen Fahrten pro Tag deutlich, wobei zwischen den Trainingstagen eine Erholung stattfindet.

Auch der Profilverlauf ist bis auf die Einsatzfahrt auf der Bundesautobahn in beiden Gruppen gleich und ähnelt dem der Gesamtstichprobe: Im Ausgangszustand an beiden Tagen haben sowohl Frauen als auch Männer die stärksten Ausprägungen in der OCULOMOTOR-Skala. Für die Trainingsfahrt-Bundesautobahn (ta) ist in beiden Gruppen ein deutliches D>O>N Profil erkennbar, welches für die Frauen auch in der Einsatzfahrt-Bundesautobahn wieder auftritt, während die verbleibenden Fahrten ein stabiles D>N>O Muster aufweisen. Die Skala mit den höchsten Scores ist in beiden Gruppen und allen sieben Fahrten DISORIENTATION.

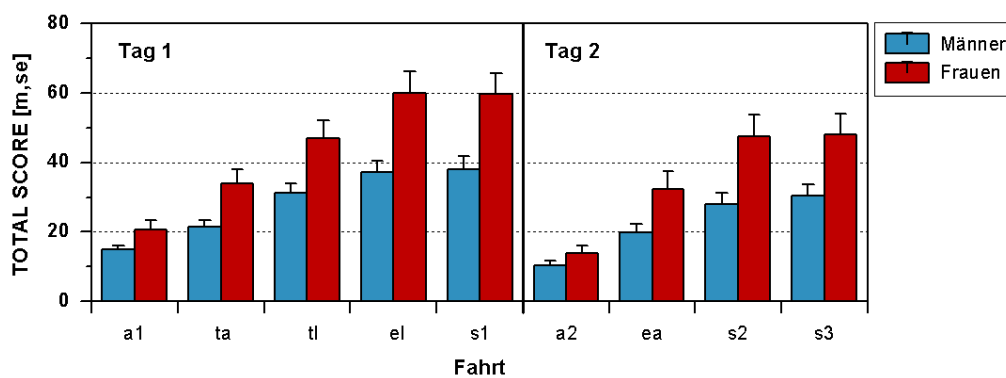


Abbildung 4.2-12: Mittelwerte und Standardfehler der SSQ-Skala TOTAL SCORE getrennt für Frauen und Männer im Ausgangszustand (a1 und a2) und im Verlauf der sieben Simulatorfahrten.

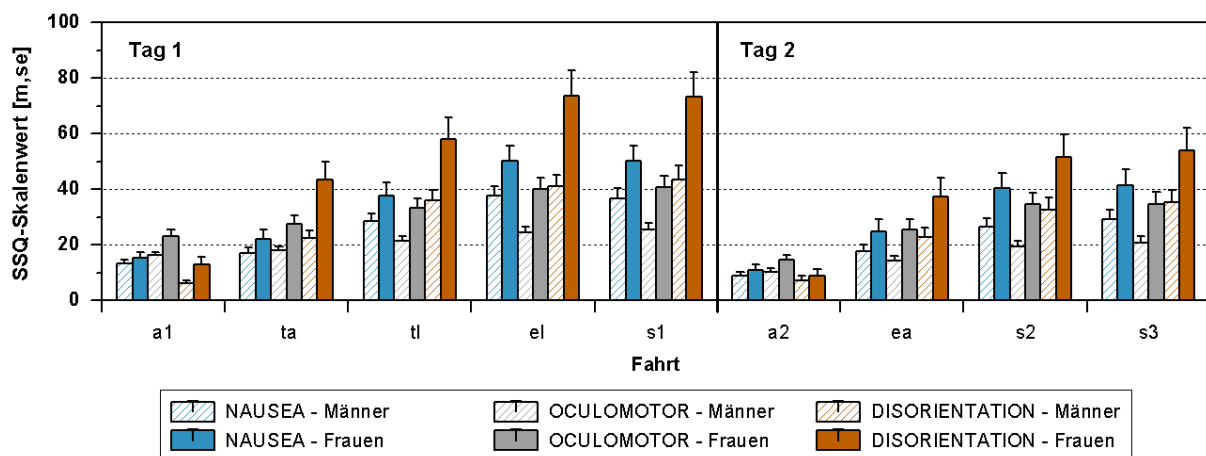


Abbildung 4.2-13: Mittelwerte und Standardfehler der Subskalen NAUSEA, DISORIENTATION und OCULOMOTOR getrennt für Frauen und Männer im Ausgangszustand (a1 und a2) und im Verlauf der sieben Simulatorfahrten.

Weiterhin zeigt sich bei allen vier Skalen, dass die Gruppe der Frauen verglichen mit der Gruppe der Männer immer höhere Scores erreicht. Die inferenzstatistische Testung der Geschlechtsunterschiede erfolgt getrennt nach Trainingstagen einzeln für jede der vier SSQ-Skalen mittels zweifaktorieller Varianzanalysen, bei denen als zweiter Faktor die Zeit betrachtet wird (Tabelle 4.2-8). Berücksichtigt werden drei Messzeitpunkte pro Tag: der Ausgangszustand, die erste Fahrt und die letzte noch durchgeführte Fahrt eines Tages. Ausgewählt wurde die letzte noch gefahrene Fahrt pro Trainingstag, da in dieser Fahrt die Symptomausprägungen und damit auch die Scores der vier SSQ-Skalen maximal sind.

Auf allen SSQ-Skalen finden sich signifikante Effekte des Faktors Geschlecht. Eine Ausnahme bildet hier die Skala NAUSEA, auf der sich ein Unterschied zwischen Frauen und Männern nur tendenziell aufweisen lässt. Bei den übrigen Skalen liegen am ersten Trainingstag bereits im Ausgangszustand geringe Differenzen zwischen den Gruppen vor. Als statistisch signifikant erweist sich auch die Zunahme der Ausprägungen der Scores im Verlauf des Trainings und zwar an beiden Tagen. Auf der Subskala DISORIENTATION liegen signifikante Wechselwirkungen vor. Diese ordinalen Interaktionen zeigen auf, dass die Beschwerden bei den Frauen über die Zeit hinweg stärker zunehmen als bei den Männern. In gleicher Weise gilt dies für die Subskalen OCULOMOTOR und den TOTAL SCORE am zweiten Trainingstag. Eine Gegenüberstellung der Mittelwerte findet sich in Abbildung 4.2-14. Diese zeigt jeweils nach Trainingstagen getrennt den Verlauf der SSQ-Subskalenwerte für die Frauen und für die Männer.

Tabelle 4.2-8: Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen für die Scores der SSQ-Skalen in den Gruppen (Geschlecht) zu den drei Messzeitpunkten (Zeit) für den ersten Trainingstag.¹⁰

	Tag 1	Q.d.V.	QS	df	MQ	F	p
Tag 1	NAUSEA	Geschlecht	5143.34	1	5143.34	3.08	0.081
		Zeit	87699.25	1	87699.25	67.43	0.000
		Zeit*Geschlecht	2267.97	1	2267.97	1.74	0.188
	OCULOMOTOR	Geschlecht	14504.53	1	14504.53	13.96	0.000
		Zeit	17942.94	1	17942.94	30.60	0.000
		Zeit*Geschlecht	1386.94	1	1386.94	2.37	0.126
	DISORIENTATION	Geschlecht	47624.06	1	47624.06	14.66	0.000
		Zeit	212285.96	1	212285.96	79.36	0.000
		Zeit*Geschlecht	11026.04	1	11026.04	4.12	0.044
TOTAL SCORE	Geschlecht	21749.77	1	21749.77	11.30	0.001	
	Zeit	88967.62	1	88967.62	65.51	0.000	
	Zeit*Geschlecht	4526.48	1	4526.48	3.33	0.069	
Tag 2	NAUSEA	Geschlecht	6703.31	1	6703.31	3.18	0.076
		Zeit	58981.19	1	58981.19	64.53	0.000
		Zeit*Geschlecht	2769.22	1	2769.22	3.03	0.083
	OCULOMOTOR	Geschlecht	14439.30	1	14439.30	11.91	0.001
		Zeit	19223.23	1	19223.23	55.86	0.000
		Zeit*Geschlecht	2846.63	1	2846.63	8.27	0.004
	DISORIENTATION	Geschlecht	21876.88	1	21876.88	5.87	0.016
		Zeit	115025.16	1	115025.16	63.56	0.000
		Zeit*Geschlecht	8367.52	1	8367.52	4.62	0.033
TOTAL SCORE	Geschlecht	19996.50	1	19996.50	8.69	0.004	
	Zeit	61676.79	1	61676.79	68.05	0.000	
	Zeit*Geschlecht	5907.36	1	5907.36	6.52	0.011	

¹⁰ Aufgrund nicht gegebener Sphärizität werden die korrigierten Werte (F-Wert, df, p) der Untergrenze angegeben.

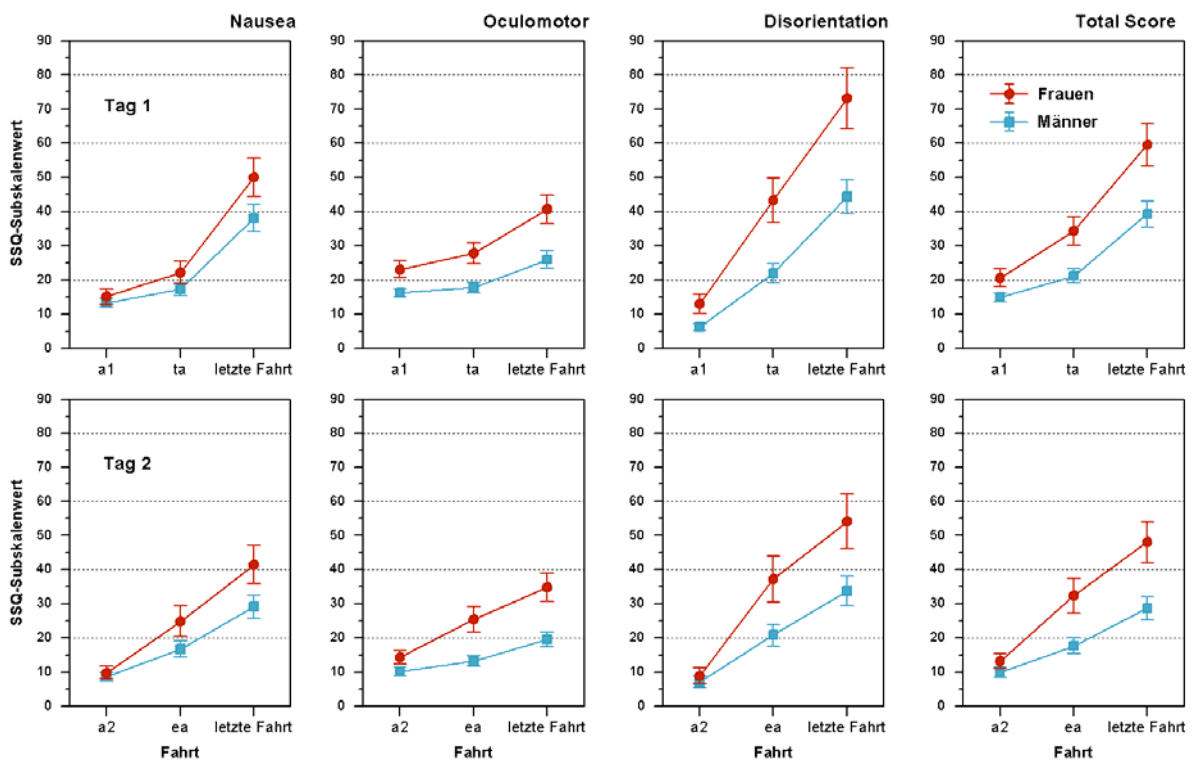


Abbildung 4.2-14: Mittelwerte und Standardfehler der SSQ-Subskalenwerte von Männern und Frauen für den Ausgangszustand sowie die erste und letzte Fahrt der beiden Trainingstage.

4.2.2.4 Kennedy-Scores und Ausfall

Dargestellt werden nachfolgend die Ergebnisse des anhand der SSQ-Skalen vorgenommenen Vergleichs derjenigen BiA, die das Training vollständig absolviert haben, mit denen, die das Training abgebrochen haben. Dazu wurde die Stichprobe aufgeteilt in eine Gruppe von BiA, die die vier Fahrten des ersten Tages gänzlich durchgeführt haben (Vollständig-Fahrer: $n=175$), und eine zweite Gruppe von BiA, die am ersten Trainingstag aufgrund von Simulatorkrankheitsbeschwerden eine der Fahrten abgebrochen haben und/oder nicht weiter am Training teilnehmen konnten (Abbrecher und Nicht-Fahrer: $n=49$). Die Aufteilung in Vollständig-Fahrer und Abbrecher/Nicht-Fahrer anhand des Trainingsausfalls vom ersten Tag wurde gewählt, da bei den ersten Simulatorexpositionen die stärksten Unterschiede zu erwarten sind.

Betrachtet man die Mittelwerte der Skalenscores der Vollständig-Fahrer und die der Abbrecher/Nicht-Fahrer (siehe Abbildung 4.2-15 und Abbildung 4.2-16), so lässt sich als erstes feststellen, dass die letztere Gruppe generell die höheren Mittelwerte bei den einzelnen Skalen in allen Fahrten aufweist. Im Verlauf eines Trainingstages steigen in beiden Gruppen die Scores der einzelnen Skalen an, wobei am ersten Tag die stärksten Ausprägungen in der Einsatzfahrt-Land (el) liegen und zur nachfolgenden letzten Fahrt dieses Tages (s1) wieder leicht abfallen, während am zweiten Trainingstag die Skalenswerte in den letzten beiden Fahrten vergleichbar hoch und auch am stärksten ausgeprägt sind, aber nicht mehr das Ausmaß wie an Tag 1 erreichen.

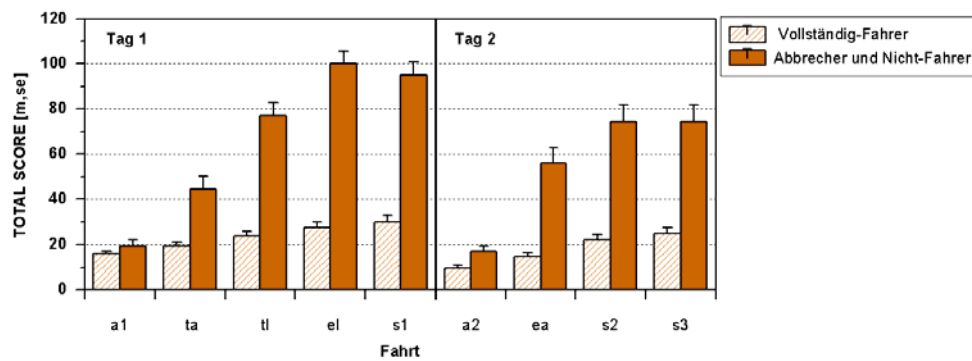


Abbildung 4.2-15: Mittelwerte und Standardfehler der SSQ-Skala TOTAL SCORE getrennt für die Vollständig-Fahrer und die Abbrecher/Nicht-Fahrer im Ausgangszustand (a1 und a2) und im Verlauf der sieben Simulatorfahrten.

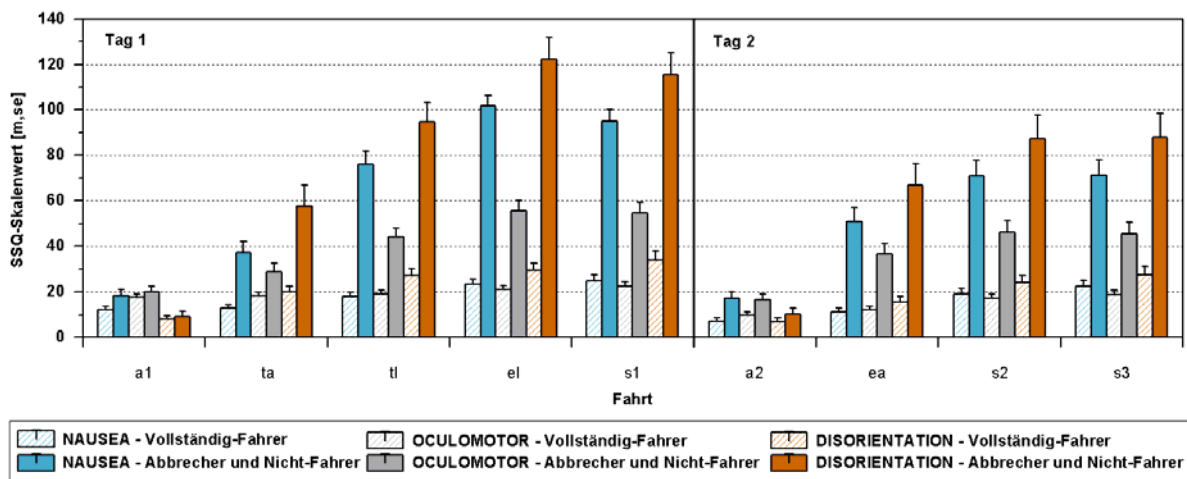


Abbildung 4.2-16: Mittelwerte und Standardfehler der Subskalen NAUSEA, DISORIENTATION und OCULOMOTOR getrennt für die Vollständig-Fahrer und die Abbrecher/Nicht-Fahrer im Ausgangszustand (a1 und a2) und im Verlauf der sieben Simulatorfahrten.

An den Werten des Ausgangszustands vom zweiten Tag (a2) wird für beide Gruppen deutlich, dass zwischen den zwei Trainingstagen eine Erholung stattfindet. Für diejenigen BiA, die alle Fahrten vollständig gefahren sind, zeigt sich für die jeweils erste Fahrt eines Tages (ta und ea) das gleiche D>O>N Symptomprofil wie auch bei der Gesamtstichprobe in der Trainingsfahrt-Bundesautobahn. Dieses Profil tritt nochmals in der zweiten Fahrt des ersten Tages auf (tl). In den verbleibenden Fahrten zeigt sich wie bei der Gesamtstichprobe ein D>N>O Profil. Bei den BiA, die während des Trainings ausgefallen sind, tritt in allen sieben Fahrten ein stabiles D>N>O Symptomprofil auf. Die in beiden Gruppen am stärksten ausgeprägte Skala ist DISORIENTATION.

Die inferenzstatistische Prüfung der Unterschiede zwischen den Vollständig-Fahrern und den Abbrechern/Nicht-Fahrern (Faktor: Gruppe) erfolgt ebenfalls getrennt nach Trainingstagen einzeln für jede der vier SSQ-Skalen mittels zweifaktorieller Varianzanalysen, bei denen als zweiter Faktor wieder die Zeit betrachtet wird. Berücksichtigt werden wiederum drei Messzeitpunkte pro Tag: der Ausgangszustand, die erste Fahrt des Tages und die letzte noch durchgeführte Fahrt des Tages (Tabelle 4.2-9).

Auf allen Skalen zeigen sich signifikante Gruppenunterschiede und weiterhin eine signifikante Zunahme der Beschwerden im Verlauf des Trainings. Die Analyse der Gruppenunterschiede weist auf, dass auf der NAUSEA-Skala bereits am Tag 1 Ausgangsunterschiede zwischen den Trainingsteilnehmern bestehen, die das Training abbrechen bzw. vollständig absolvieren. Ausgangsdifferenzen finden

sich weiterhin am zweiten Trainingstag auf nahezu allen Skalen mit Ausnahme des DISORIENTATION-Scores (Tabelle 4.2-10). Darüber hinaus bildet sich in der Interaktion der Faktoren ab, dass in der Gruppe der Abbrecher/Nichtfahrer nahezu durchgängig eine stärkere Zunahme der Beschwerden zu beobachten ist (zu Details Tabelle 4.2-11).

Tabelle 4.2-9: Ergebnisse der Split-Plot-Varianzanalysen für die Scores der SSQ-Skalen in den Gruppen (Vollständig-Fahrer und Abbrecher/Nicht-Fahrer) zu den drei Messzeitpunkten (Zeit)¹¹.

	Tag 1	Q.d.V.	QS	df	MQ	F	p
Tag 1	NAUSEA	Gruppe	124444.32	1	124444.32	113.68	0.000
		Zeit	164206.19	1	164206.19	176.44	0.000
		Zeit*Gruppe	78067.73	1	78067.73	83.88	0.000
	OCULOMOTOR	Gruppe	25402.33	1	25402.33	25.44	0.000
		Zeit	32611.32	1	32611.32	64.42	0.000
		Zeit*Gruppe	17641.17	1	17641.17	34.85	0.000
	DISORIENTATION	Gruppe	189292.70	1	189292.70	72.31	0.000
		Zeit	332019.51	1	332019.51	157.20	0.000
		Zeit*Gruppe	125740.82	1	125740.82	59.53	0.000
	TOTAL SCORE	Gruppe	114384.46	1	114384.46	77.29	0.000
		Zeit	155236.52	1	155236.52	151.13	0.000
		Zeit*Gruppe	70923.51	1	70923.51	69.05	0.000
Tag 2	NAUSEA	Gruppe	107713.01	1	107713.01	66.98	0.000
		Zeit	88063.73	1	88063.73	113.74	0.000
		Zeit*Gruppe	30372.49	1	30372.49	39.23	0.000
	OCULOMOTOR	Gruppe	34317.23	1	34317.23	30.84	0.000
		Zeit	22791.51	1	22791.51	69.64	0.000
		Zeit*Gruppe	7098.41	1	7098.41	21.69	0.000
	DISORIENTATION	Gruppe	138939.94	1	138939.94	44.05	0.000
		Zeit	168371.91	1	168371.91	107.24	0.000
		Zeit*Gruppe	58082.42	1	58082.42	36.99	0.000
	TOTAL SCORE	Gruppe	94860.82	1	94860.82	49.30	0.000
		Zeit	85161.50	1	85161.50	108.04	0.000
		Zeit*Gruppe	29823.84	1	29823.84	37.84	0.000

Tabelle 4.2-10: Ergebnisse der t-Tests zur Prüfung der Gruppenunterschiede.

	Subskala	Tag 1			Tag 2		
		T	df	p	T	df	p
Ausgangszustand	NAUSEA	-2.08	66.85	0.042	-3.40	61.92	0.001
	OCULOMOTOR	-0.83	220.00	0.405	-2.55	219.00	0.011
	DISORIENTATION	-0.26	218.00	0.795	-1.06	219.00	0.289
	TOTAL SCORE	-1.38	215	0.170	-2.54	217	0.012
erste Fahrt	NAUSEA	-4.88	54.57	0.000	-6.23	52.24	0.000
	OCULOMOTOR	-2.71	63.80	0.009	-5.06	55.22	0.000
	DISORIENTATION	-3.98	52.54	0.000	-5.27	53.92	0.000
	TOTAL SCORE	-4.19	54.37	0.000	-5.84	52.05	0.000
letzte Fahrt	NAUSEA	-12.05	220.00	0.000	-6.59	58.74	0.000
	OCULOMOTOR	-6.31	67.36	0.000	-5.16	63.34	0.000
	DISORIENTATION	-7.85	63.26	0.000	-5.55	58.35	0.000
	TOTAL SCORE	-9.98	219	0.000	-6.28	58.32	0.000

¹¹ Aufgrund nicht gegebener Sphärizität werden die korrigierten Werte (F-Wert, df, p) der Untergrenze angegeben.

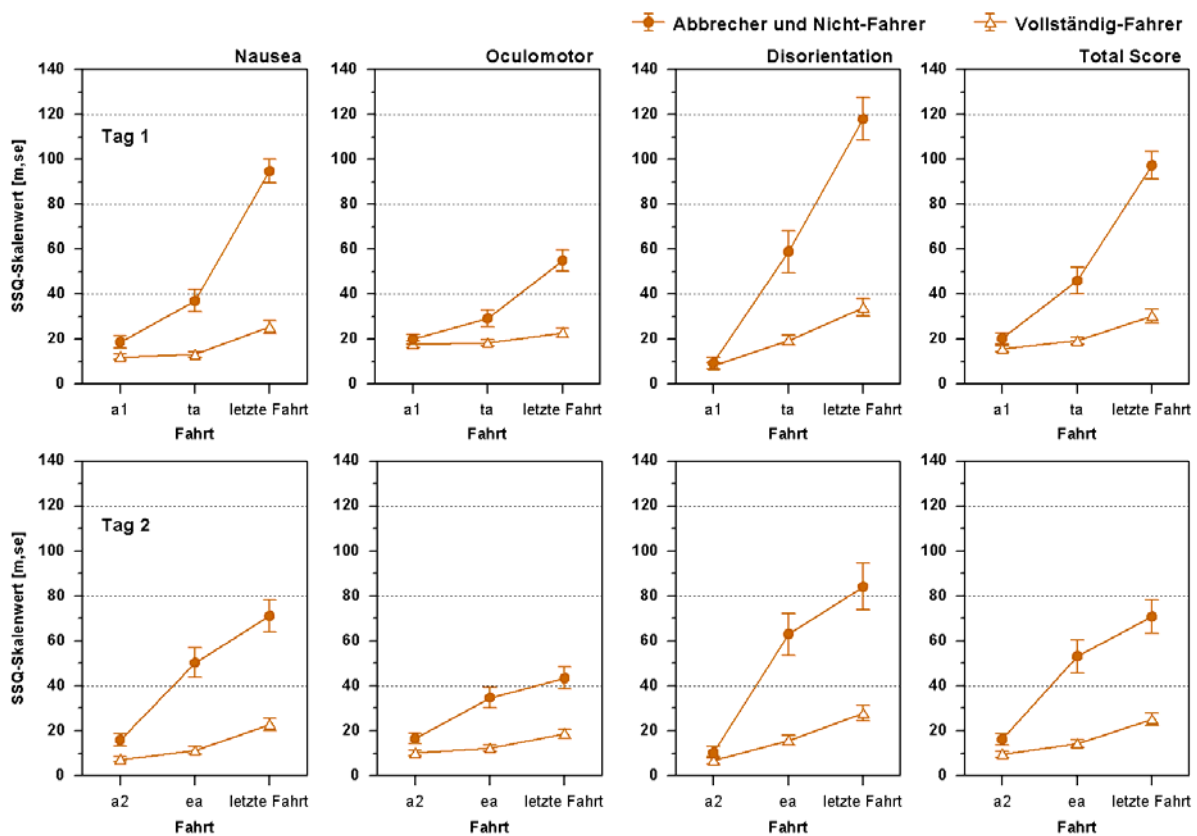


Abbildung 4.2-17: Mittelwerte und Standardfehler für die Gruppen der Vollständig-Fahrer und der Abbrecher: Subskalen des SSQ und TOTAL SCORE.

Tabelle 4.2-11: Ergebnisse der nachgeschobenen zweifaktoriellen abhängigen Varianzanalysen über Zeitpunkte und Gruppen für die Subskala NAUSEA zur Nachtestung der gefundenen signifikanten Wechselwirkungen (Tag 1 und Tag 2).

		Fahrt	Gruppe		Zeit		WW	
			F	p	F	p	F	p
NAUSEA	Tag 1	a1 - ta	34.11	0.000	35.48	0.000	27.78	0.000
		ta - letzte Fahrt Tag 1	138.87	0.000	165.57	0.000	70.85	0.000
	Tag 2	a2 - ea	57.39	0.000	98.74	0.000	61.07	0.000
		ea - letzte Fahrt Tag 2	79.67	0.000	54.12	0.000	3.99	0.047
OCULOMOTOR	Tag 1	a1 - ta	6.00	0.015	11.00	0.001	8.55	0.004
		ta - letzte Fahrt Tag 1	35.24	0.000	68.55	0.000	34.27	0.000
	Tag 2	a2 - ea	26.19	0.000	59.35	0.000	34.94	0.000
		ea - letzte Fahrt Tag 2	44.99	0.000	38.89	0.000	0.95	0.330
DISORIENTATION	Tag 1	a1 - ta	25.38	0.000	109.89	0.000	42.52	0.000
		ta - letzte Fahrt Tag 1	82.25	0.000	84.57	0.000	31.73	0.000
	Tag 2	a2 - ea	34.55	0.000	104.34	0.000	51.89	0.000
		ea - letzte Fahrt Tag 2	60.02	0.000	40.02	0.000	2.70	0.102
TOTAL SCORE	Tag 1	a1 - ta	23.94	0.000	58.93	0.000	33.74	0.000
		ta - letzte Fahrt Tag 1	92.85	0.000	121.65	0.000	52.05	0.000
	Tag 2	a2 - ea	40.46	0.000	99.54	0.000	56.68	0.000
		ea - letzte Fahrt Tag 2	70.97	0.000	51.68	0.000	3.37	0.068

4.2.2.5 Kennedy-Scores und Disposition

Tabelle 4.2-12: Korrelationen zwischen den Dispositionsitens und den vier SSQ-Skalen, jeweils für die letzte an Tag 1 und Tag 2 noch durchgeführte Fahrt (für alle Korrelationen gilt $p < .05$).

		letzte Fahrt Tag 1				letzte Fahrt Tag 2			
		N	O	D	TS	N	O	D	TS
Achterbahn fahren	r	0.284	0.233	0.200	0.243	0.250	0.215	0.190	0.234
	N	220	222	221	219	218	219	221	217
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw	r	0.363	0.279	0.379	0.360	0.372	0.342	0.340	0.366
	N	222	224	223	221	220	220	223	218
im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung Sitzen	r	0.428	0.341	0.376	0.409	0.439	0.373	0.373	0.415
	N	222	224	223	221	220	220	223	218
Karussell fahren	r	0.328	0.340	0.300	0.333	0.372	0.354	0.335	0.381
	N	222	224	223	221	220	220	223	218
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit	r	0.365	0.324	0.352	0.363	0.329	0.318	0.323	0.335
	N	220	222	221	219	218	218	221	216
lange Mitfahrten im Auto oder Bus	r	0.372	0.394	0.406	0.411	0.459	0.427	0.431	0.463
	N	222	224	223	221	220	220	223	218
Lesen während der Pkw-Mitfahrt	r	0.415	0.334	0.387	0.402	0.426	0.352	0.360	0.398
	N	222	224	223	221	220	220	223	218
Schiffsreisen	r	0.287	0.264	0.259	0.279	0.213	0.220	0.223	0.233
	N	214	215	214	213	211	211	214	209
Dispositionsscore	r	0.517	0.457	0.480	0.510	0.510	0.459	0.457	0.502
	n	212	213	212	211	209	210	212	208

Wie bereits bei der Betrachtung der Ausfallraten (unter Punkt 4.2.1.2.2) dargestellt, gibt es in der Disposition signifikante Unterschiede zwischen den Vollständig-Fahrern und den Abbrechern/Nicht-Fahrern. Um zu prüfen, inwieweit sich Zusammenhänge zwischen der bisherigen Erfahrung mit Bewegungssituationen und der während des Trainings auftretenden Symptomatik ergeben, wurden die Dispositionsitens jeweils mit den SSQ-Skalenwerten korreliert. Die entsprechenden Korrelationen für die Gesamtstichprobe zeigt Tabelle 4.2-12. Es finden sich schwache bis mittlere Korrelationen, wobei allgemein die höchsten Korrelationen in Verbindung mit dem Dispositions-Summscore auftreten. Weiterhin sind die Korrelationskoeffizienten beider Tage in etwa gleich hoch.

Es ergeben sich also Hinweise darauf, dass BiA mit einem hohen Dispositionsscore auch eher hohe Kennedy-Scores aufweisen. Eine allgemeine Unverträglichkeit von Bewegungssituationen weist also einen – wenn auch eher geringen – Zusammenhang mit der auftretenden Symptomatik auf.

4.2.2.6 Kennedy Scores Tag 1/Tag2

Die bisherigen Analysen haben aufgezeigt, dass massive interindividuelle Unterschiede in der Anfälligkeit für Kinetosebeschwerden bestehen. Im Folgenden ist nun der Frage nachzugehen, inwieweit diese Anfälligkeit sich als stabiles Merkmal erweist oder ob sich Gewöhnungseffekte aufweisen lassen. Betrachtet werden dazu die Korrelationen der SSQ-Skalenwerte der jeweils letzten Fahrten der beiden Trainingstage. Die Koeffizienten sind getrennt für die Subskalen und den Gesamtscore der Tabelle 4.2-13 zu entnehmen. Berücksichtigt wurde zum einen die Gesamtstichprobe, für die sich auf allen Skalen recht hohe Korrelationen ($r > .75$) ergeben. D.h. es ist davon auszugehen, dass ein Trainingsteilnehmer, der am ersten Tag vergleichsweise starke Beschwerden berichtet, auch am zweiten Trainingstag stärker unter Kinetosesymptomen leidet.

Neben der Gesamtstichprobe wurden die Zusammenhänge getrennt für die Gruppen der Abbrecher/Nicht-Fahrer und der Vollständig-Fahrer berechnet. Hier zeigt sich, dass die Korrelationen in der Gruppe derjenigen, die das Training vollständig absolviert haben, zwischen .71 und .79 variieren, d.h. eine relativ hohe Übereinstimmung der Werte vorliegt. Bei den Abbrechern und Nicht-Fahrern ergeben sich nur mittlere Korrelationen mit Koeffizienten zwischen .54 und .67.

Tabelle 4.2-13: Korrelationen für den Zusammenhang der einzelnen SSQ-Skalenwerte an Tag 1 und Tag 2 für die Vollständig-Fahrer (n=175), die Abbrecher/Nicht-Fahrer (n=49) und die Gesamtstichprobe (n=224). Für alle Korrelationen gilt $p < .001$.

		Korrelation Symptomatik Tag 1 und Tag 2			
		N	O	D	TS
Vollständig-Fahrer	r	0.758	0.792	0.714	0.780
	N	173	172	175	171
Abbrecher/Nicht-Fahrer	r	0.543	0.617	0.666	0.613
	N	46	48	47	45
Gesamtstichprobe	r	0.773	0.779	0.757	0.790
	N	219	220	222	216

Um zu prüfen, ob sich die Skalenwerte der beiden Trainingstage systematisch ändern, wurden die Differenzen der Ausprägungen an Tag 1 und Tag 2 (jeweils letzte Fahrt) berechnet. Tabelle 4.2-13 zeigt das Ergebnis: Zu sehen ist, dass mit Ausnahme der NAUSEA-Werte in der Gruppe der Vollständig-Fahrer alle Scores am zweiten Tag geringer ausfallen. Während sich in der Gruppe der Vollständig-Fahrer nur geringe Differenzen (Δm) zeigen – diese Fahrer hatten auch geringere Ausgangswerte (vgl. Kapitel 4.2.4.4) –, verringern sich die Scores in der Gruppe der Abbrecher sehr viel deutlicher. Insgesamt werden die Simulatorfahrten am zweiten Trainingstag etwas besser vertragen.

Tabelle 4.2-14: Ergebnisse der t-Tests für abhängige Stichproben. Vergleich der Scores der letzten Fahrten an Trainingstag 1 und 2 getrennt für Vollständig-Fahrer und Abbrecher/Nicht-Fahrer.

Skala		Δm	sd	se	t	df	p
NAUSEA	Vollständig-Fahrer	1.930	24.365	1.852	1.042	172	0.299
	Abbrecher/ Nicht-Fahrer	23.228	41.053	6.053	3.837	45	0.000
OCULOMOTOR	Vollständig-Fahrer	3.526	17.066	1.301	2.709	171	0.007
	Abbrecher/ Nicht-Fahrer	9.317	29.095	4.200	2.219	47	0.031
DISORIENTATION	Vollständig-Fahrer	6.363	37.361	2.824	2.253	174	0.025
	Abbrecher/ Nicht-Fahrer	27.840	56.581	8.253	3.373	46	0.002
TOTAL SCORE	Vollständig-Fahrer	4.484	25.058	1.916	2.340	170	0.020
	Abbrecher/ Nicht-Fahrer	21.443	41.297	6.156	3.483	44	0.001

4.2.3 Symptomatik: Analyse auf Symptomebene

Für eine ausführliche Darstellung des Ausmaßes der Simulatorkrankheit während des Trainings werden in diesem Abschnitt die Beschwerden auf der Ebene der Einzelsymptome betrachtet. Die Gliederung folgt der des vorangehenden Abschnitts.

4.2.3.1 Symptome im Ausgangszustand

Die mittleren Ausprägungen der Symptome im Ausgangszustand am ersten Trainingstag liegen zwischen ‚gar nicht‘ und ‚etwas‘, d.h. die BiA sind vor dem Training in einer guten körperlichen Verfassung¹² (siehe Abbildung 4.2-18). Generell sind an beiden Tagen vor Beginn des Trainings die Symptome „Ermüdung“, „angestrenzte Augen“, „Allgemeines Unwohlsein“ und „Konzentrationsschwierigkeiten“ am stärksten ausgeprägt.

Erklärbar wird dieser Befund, wenn man die mittlere Schlafdauer in der Nacht vor dem Training an Tag 1 betrachtet, die mit 5.8 Stunden (sd=1.41) sehr kurz ist. Einige Klassen reisen nicht am Vorabend, sondern erst am Morgen des Trainings an. Im Mittel wird für den Zeitpunkt des Aufstehens 05:14 Uhr angegeben.

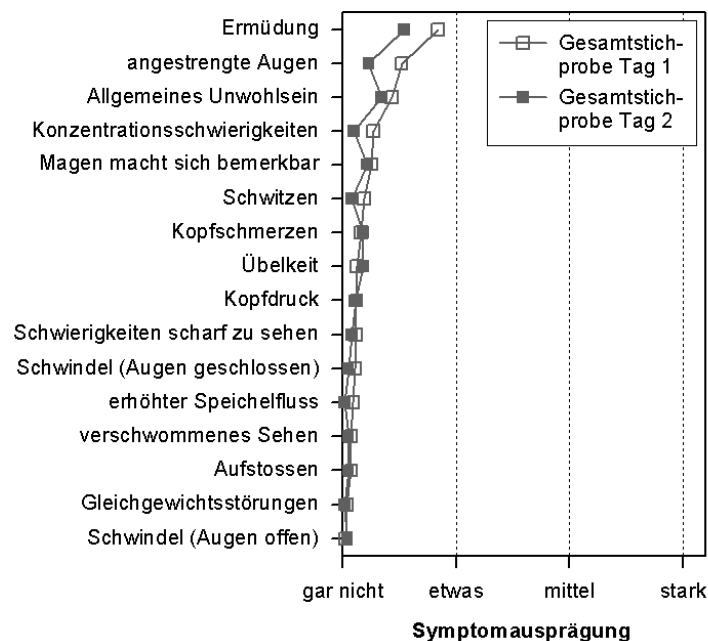


Abbildung 4.2-18: Mittelwerte der SSQ-Symptome im Ausgangszustand für die Gesamtstichprobe am ersten und zweiten Trainingstag.

¹² N=7 BiA (3.14%) nehmen zum Zeitpunkt des Trainings Medikamente ein. Dabei handelt es sich lediglich um Jodtabletten, ein Aknemittel, ein Blutdruckmedikament, Magnesiumtabletten, Halsschmerztabletten, ein homöopathisches Schnupfenmittel und Hustensaft. Ein BiA gab an, Penicillin einzunehmen, spezifiziert aber nicht, aus welchem Grund. Da er aber im Ausgangszustand keine auffälligen Symptome zeigte, das Training vollständig absolvierte und auch immer wieder gern in den Simulator zurückkehrte, wurde er nicht von der Auswertung ausgeschlossen.

Auch am zweiten Trainingstag liegen die Mittelwerte der genannten Symptome vor dem Training zwischen ‚gar nicht‘ und ‚etwas‘¹³. Durchschnittlich werden zwischen den zwei Trainingstagen im Mittel 7.08 Stunden (sd=1.31) geschlafen. Dies ist deutlich mehr als am ersten Trainingstag, trotzdem ist das Symptom ‚Ermüdung‘ immer noch am stärksten ausgeprägt. Dieses Symptom ist also nicht simulatorkrankheitsspezifisch, da es an beiden Tagen schon vor den Simulatorexpositionen vorhanden ist.

Mit Hilfe der Angaben zum Ausgangszustand auf Einzelsymptomebene lassen sich auch die hohen SSQ-Scores (besonders OCULOMOTOR) vor dem Training (vgl. Punkt 4.2.2.1) erklären. Da die Symptome Ermüdung, „angestrenzte Augen“, „Allgemeines Unwohlsein“ und „Konzentrationschwierigkeiten“ zur Rohsummenwertberechnung der SSQ-Skala OCULOMOTOR herangezogen werden und dann für den eigentlichen Skalenwert noch mit dem Gewicht 7.58 multipliziert werden, erreicht bereits jemand, der z.B. nur drei dieser vier Symptome mit ‚etwas‘ ausgeprägt beurteilt, einen OCULOMOTOR-Score >20 im Ausgangszustand. Dieser von Kennedy als kritisch bezeichnete Score von 20 wird bei Müdigkeit eines Trainingsteilnehmers also sehr schnell erreicht.¹⁴

4.2.3.2 Symptome: Inzidenz und Ausprägung während des Trainings

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Symptomatik während des Trainings. Bezogen auf die Gesamtstichprobe liegen die mittleren Ausprägungen der Symptome in den vier Fahrten des ersten Trainingstages zwischen ‚gar nicht‘ und ‚etwas‘ (siehe Abbildung 4.2-19).

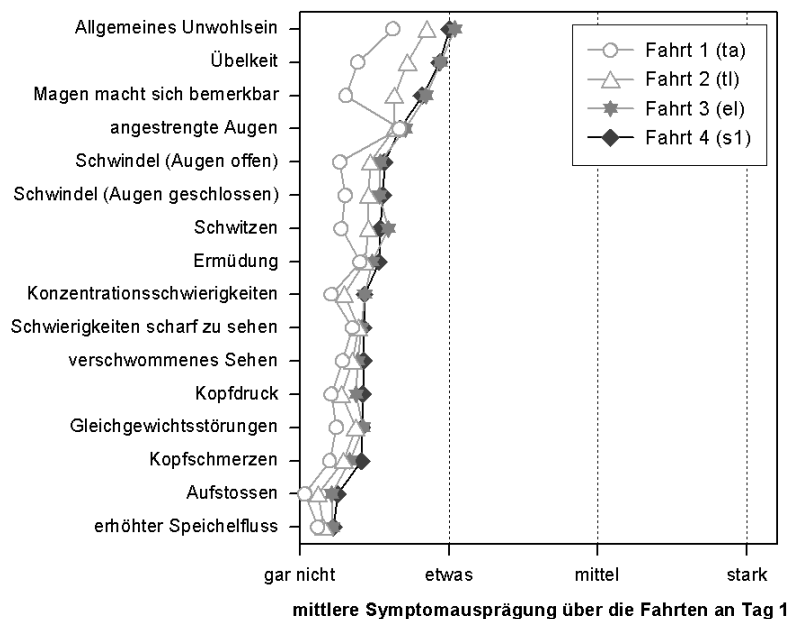


Abbildung 4.2-19: Mittelwerte der einzelnen Symptome für die vier Fahrten des ersten Trainingstages (Gesamtstichprobe).

¹³ Am zweiten Tag nehmen nur noch n=6 der BiA (2.75%) Medikamente ein. Es sind die gleichen BiA und die gleichen Medikamente wie an Tag 1.

¹⁴ Ähnliches gilt für die NAUSEA- und DISORIENTATION-Werte. Da das NAUSEA-Skalengewicht 9.54 ist, ergibt sich bereits bei einer Beurteilung der Ausprägung mit ‚etwas‘ bei drei der sieben Symptome, die zu dieser Skala gehören, bzw. auch, wenn nur eins dieser sieben Symptome mit ‚stark‘ angegeben wird, ein Skalenwert >20. Bei der DISORIENTATION-Skala (Skalengewicht 13.92) reicht es, bereits bei zwei der sieben möglichen Symptome die Ausprägung mit ‚etwas‘ anzugeben bzw. eins der sieben Symptome mit ‚mittel‘ zu beurteilen, um einen DISORIENTATION-Score >20 zu erreichen.

Am stärksten ausgeprägt sind die Symptome „Allgemeines Unwohlsein“, „Übelkeit“ und „Magen macht sich bemerkbar“, vor allem in der dritten (e1) und der vierten Fahrt (s1). Es findet sich außer „Allgemeines Unwohlsein“ kein Symptom, das bei irgendeiner Fahrt einen Mittelwert >1 (1= ‚etwas‘) hat. Auch am zweiten Tag liegen die mittleren Symptomausprägungen in den drei zu absolvierenden Fahrten für die Gesamtstichprobe allgemein zwischen ‚gar nicht‘ und ‚etwas‘ (siehe Abbildung 4.2-20). Auffällig sind auch hier die oben genannten drei Symptome.

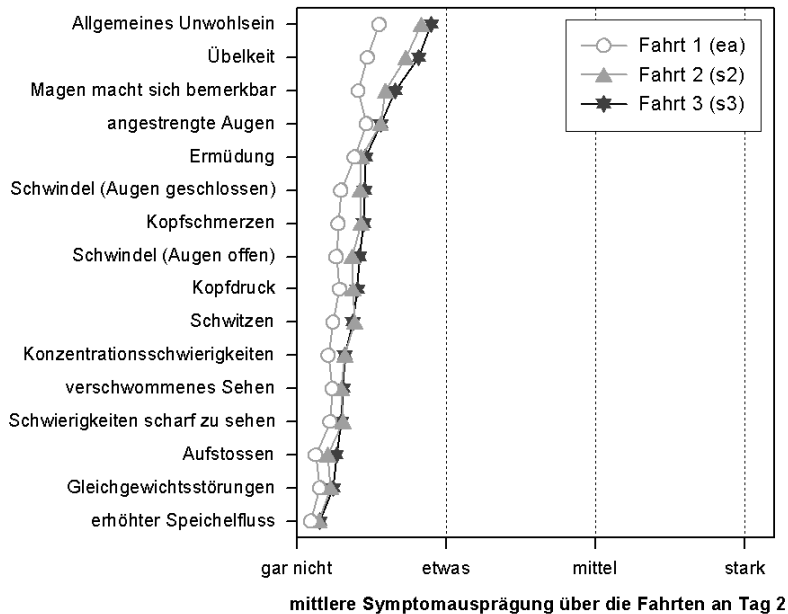


Abbildung 4.2-20: Mittelwerte der einzelnen Symptome für die drei Fahrten des zweiten Trainingstages (Gesamtstichprobe).

Diese Darstellung verleitet zu der Annahme, dass es den BiA während des Trainings gut geht. Allerdings sind die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Symptome pro Fahrt positiv schief, was bedeutet, dass mehr als die Hälfte der BiA bei jedem Symptom die Ausprägung mit ‚gar nicht‘ nach der jeweiligen Fahrt angibt. Dementsprechend ist der Median – also der Wert, den 50% der BiA angekreuzt haben, – kleiner als der Mittelwert. Der Mittelwert fällt aufgrund der vielen ‚gar nicht‘-Angaben ziemlich klein aus.

Dennoch treten bei einigen BiA während des Trainings auch starke Beschwerden auf. Insgesamt gibt es in der vorliegenden Stichprobe nur $n=18$ BiA, die in allen sieben Fahrten jeweils alle sechzehn Symptome mit ‚gar nicht‘ ausgeprägt angeben, d.h. bei etwa 92% der Trainingsteilnehmer tritt im Verlauf des zweitägigen Trainings mindestens eines der Symptome auf.

Die nachfolgende Tabelle 4.2-15 gibt bezogen auf die Gesamtstichprobe einen Überblick über die Häufigkeitsverteilungen der einzelnen Symptombewertungen für die jeweils letzte noch gefahrene Fahrt am ersten Trainingstag. Die letzte noch absolvierte Fahrt wurde zur Darstellung der Inzidenzen gewählt, weil bei dieser Fahrt davon ausgegangen werden kann, dass die Symptomausprägungen individuell maximal sind. Es ist deutlich zu erkennen, dass immerhin je 13.84% der BiA ($n=31$) die Symptome „Übelkeit“ und „Allgemeines Unwohlsein“ als ‚stark‘ ausgeprägt nach ihrer letzten Fahrt angeben und das Symptom „Magen macht sich bemerkbar“ immerhin noch 11.61% der BiA ($n=28$). Tabelle 4.2-16 zeigt die entsprechenden Häufigkeiten für den zweiten Trainingstag.

Tabelle 4.2-15: Inzidenzen der einzelnen Symptome für die jeweils letzte an Tag 1 noch gefahrene Fahrt.

Symptom	% der BiA, die das Symptom als „ angegeben haben				N
	gar nicht	etwas	mittel	stark	
Übelkeit	52.68	15.18	18.30	13.84	224
Allgemeines Unwohlsein	44.20	25.45	16.52	13.84	224
Magen macht sich bemerkbar	54.02	21.88	12.50	11.61	224
Schwitzen	65.92	20.18	8.07	5.83	223
Schwindel (Augen geschlossen)	68.16	13.45	13.00	5.38	223
Schwindel (Augen offen)	65.63	17.86	11.16	5.36	224
Kopfschmerzen	71.88	17.86	7.59	2.68	224
Schwierigkeiten scharf zu sehen	70.54	19.20	7.59	2.68	224
erhöhter Speichelfluss	84.30	11.21	2.24	2.24	223
angestrengte Augen	50.89	33.48	13.39	2.23	224
Gleichgewichtsstörungen	72.32	16.07	9.38	2.23	224
Aufstoßen	82.59	11.61	4.02	1.79	224
Kopfdruck	70.98	17.86	9.38	1.79	224
verschwommenes Sehen	68.75	21.43	8.48	1.34	224
Konzentrationsschwierigkeiten	68.30	21.43	8.93	1.34	224
Ermüdung	60.27	28.13	10.27	1.34	224

Tabelle 4.2-16: Inzidenzen der einzelnen Symptome für die jeweils letzte an Tag 2 noch gefahrene Fahrt.

Symptom	% der BiA, die das Symptom als „ angekreuzt haben				N
	gar nicht	etwas	mittel	stark	
Übelkeit	55.80	17.41	16.07	10.71	224
Allgemeines Unwohlsein	45.74	27.80	17.04	9.42	223
Magen macht sich bemerkbar	62.78	16.59	12.56	8.07	223
Schwindel (Augen geschlossen)	70.98	16.96	8.04	4.02	224
Schwitzen	74.44	17.04	4.93	3.59	223
Schwindel (Augen offen)	71.88	18.30	6.25	3.57	224
Kopfschmerzen	67.71	22.42	7.17	2.69	223
Aufstoßen	82.59	11.16	3.57	2.68	224
angestrengte Augen	58.48	29.46	9.38	2.68	224
Schwierigkeiten scharf zu sehen	78.13	16.52	2.68	2.68	224
Kopfdruck	72.77	16.52	8.04	2.68	224
Konzentrationsschwierigkeiten	76.68	16.59	4.93	1.79	223
verschwommenes Sehen	78.13	14.73	5.36	1.79	224
Gleichgewichtsstörungen	81.17	14.80	2.69	1.35	223
Ermüdung	63.23	28.70	7.17	0.90	223
erhöhter Speichelfluss	87.95	9.82	1.34	0.89	224

4.2.3.3 Symptome und Geschlecht

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Frage, ob bei Männern (n=158) und Frauen (n=62) Unterschiede in der Symptomatik vorliegen.¹⁵ Abbildung 4.2-21 veranschaulicht dazu die mittleren Symptomausprägungen der Männer und Frauen getrennt für die jeweils letzten Fahrten der zwei Trainingstage. Erkennbar ist, dass die Leitsymptome „Allgemeines Unwohlsein“, „Übelkeit“ und „Magen macht sich bemerkbar“ in beiden Gruppen am stärksten ausgeprägt sind. Bei einer insgesamt sehr vergleichbaren Struktur berichten die Frauen insgesamt stärkere Kinetosebeschwerden. Während sich die

¹⁵ Unterschiede im Ausgangszustand finden sich lediglich bei den Symptomen „Kopfschmerzen“ und „Kopfdruck“. Da die Ausprägungen und Differenzen sehr gering sind, wird hier auf eine weitere Darstellung verzichtet.

Unterschiede für die genannten Hauptsymptome lediglich am ersten Trainingstag inferenzstatistisch absichern lassen, ist am zweiten Tag lediglich eine Tendenz aufzuweisen (Tabelle 4.2-17).

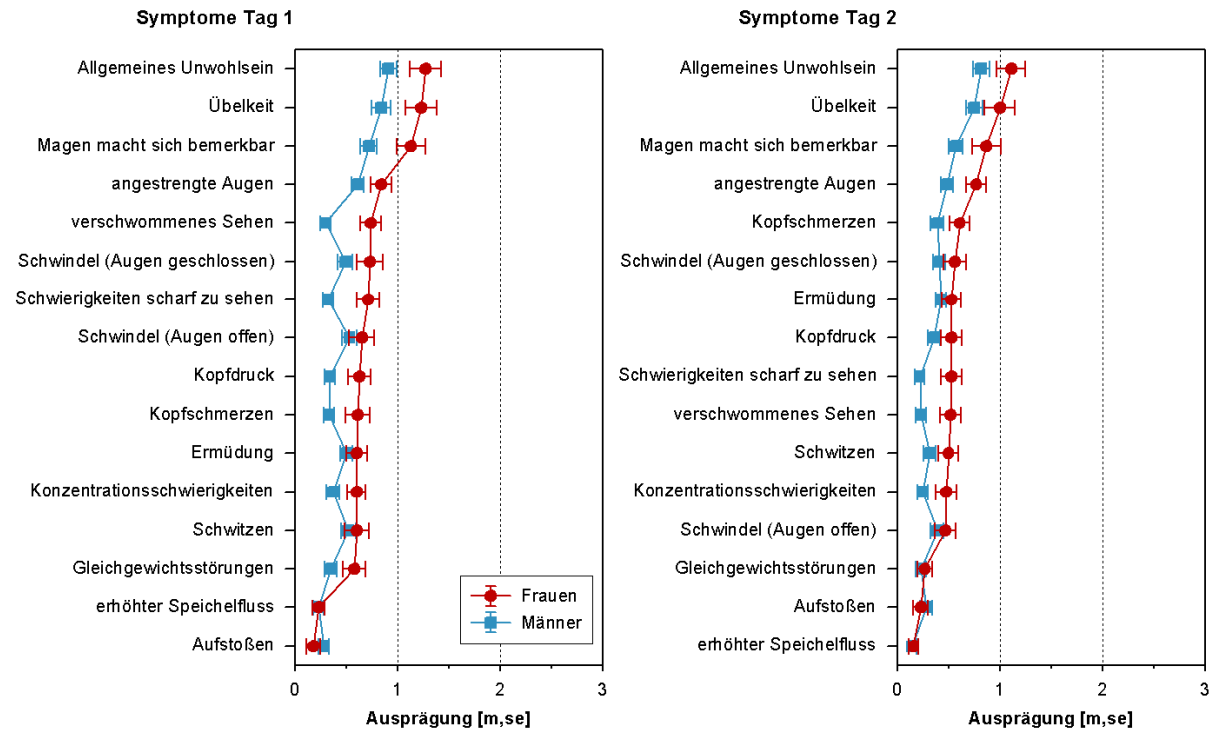


Abbildung 4.2-21: Mittelwerte und Standardfehler der einzelnen Symptome getrennt für Männer (links) und Frauen (rechts) in den letzten Fahrten der beiden Trainingstage.

Tabelle 4.2-17: Ergebnisse der t-Tests zur Überprüfung der Geschlechtsunterschiede in den letzten Fahrten an beiden Trainingstagen.

	Fahrt	Levene-Test		T-Test für die Mittelwertgleichheit		
		F	p	T	df	p
Allgemeines Unwohlsein	Tag 1	4.190	0.042	-2.150	101.240	0.034
	Tag 2	0.671	0.414	-1.945	217.000	0.053
Übelkeit	Tag 1	4.480	0.036	-2.170	100.110	0.032
	Tag 2	2.642	0.106	-1.597	218.000	0.112
Magen macht sich bemerkbar	Tag 1	2.850	0.093	-2.660	218.000	0.008
	Tag 2	6.140	0.014	-1.910	99.170	0.059

4.2.3.4 Symptome und Ausfall

Anhand der Kennedy-Scores lassen sich nur begrenzt darüber Aussagen treffen, welche Symptommuster zu Ausfällen führen, da zentrale Symptome in die Berechnung mehrerer Subskalenscores eingehen. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Gruppen der Vollständig-Fahrer und Abbrecher/Nicht-Fahrer auf Einzelsymptomebene einander gegenübergestellt. Betrachtet werden dabei wiederum nur die letzten Fahrten der beiden Trainingstage, bei denen die Unterschiede zwischen den Gruppen am stärksten ausgeprägt sind.

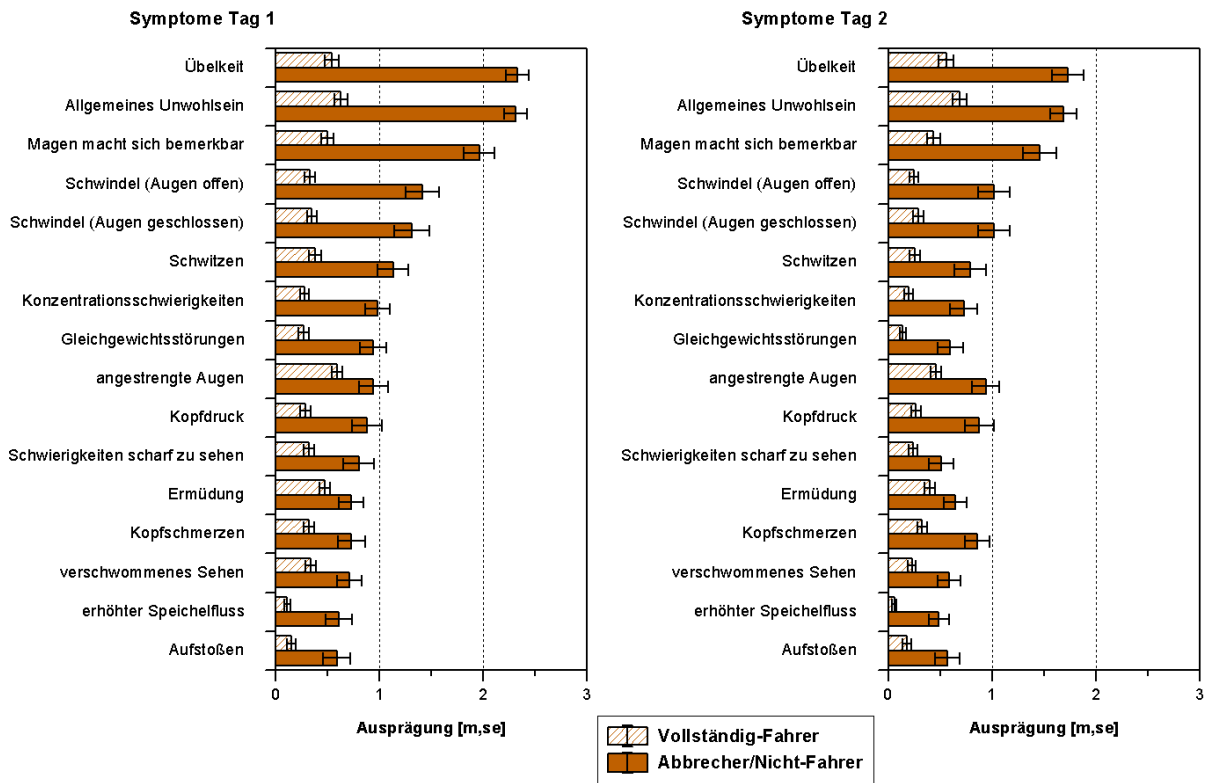


Abbildung 4.2-22: Mittelwerte und Standardfehler der einzelnen Symptome für die Vollständig-Fahrer (links) und die Abbrecher/Nicht-Fahrer in den jeweils letzten Fahrten an beiden Trainingstagen.

Abbildung 4.2-22 zeigt, dass die Symptome „Übelkeit“, „Allgemeines Unwohlsein“ und „Magen macht sich bemerkbar“ am stärksten zwischen den beiden Gruppen differenzieren (vgl. hierzu Tabelle 4.2-18). Sie haben jedoch nicht nur bei den Abbrechern/Nichtfahrern die höchsten Ausprägungen, sondern auch in der Gruppe der Vollständigfahrer. Ausgangswertunterschiede zwischen den Gruppen lassen sich vor Trainingsbeginn am ersten Tag nicht absichern. Hingegen finden sich am zweiten Tag bereits Gruppenunterschiede vor Antritt des Trainings.

Tabelle 4.2-18: Ergebnisse der t-Tests zur Prüfung der Gruppenunterschiede im Ausgangszustand und in den letzten Fahrten an beiden Trainingstagen.

		Fahrt	Levene-Test		T-Test für die Mittelwertgleichheit		
			F	p	T	df	p
Allgemeines Unwohlsein	Tag 1	a1	0.03	0.871	-1.78	221	0.077
		letzte Fahrt	0.67	0.413	-12.46	222	0.000
	Tag 2	a2	18.76	0.000	-4.22	57.20	0.000
		letzte Fahrt	0.14	0.711	-6.74	221	0.000
Übelkeit	Tag 1	a1	17.19	0.000	-1.79	60.72	0.078
		letzte Fahrt	1.30	0.255	-12.99	222	0.000
	Tag 2	a2	16.68	0.000	-2.29	61.61	0.025
		letzte Fahrt	2.47	0.118	-7.72	222	0.000
Magen macht sich bemerkbar	Tag 1	a1	7.32	0.007	-1.71	69.77	0.092
		Letzte Fahrt	7.80	0.006	-8.98	63.84	0.000
	Tag 2	a2	47.41	0.000	-2.83	52.81	0.007
		letzte Fahrt	14.10	0.000	-6.01	62.59	0.000

4.2.3.5 Symptome und Disposition

Wie in Kapitel 4.2.2.5 aufgezeigt, lassen sich schwache bis mittlere Zusammenhänge zwischen der bisherigen Erfahrung mit Bewegungssituationen (Disposition) und der während des Trainings auftretenden Symptomatik aufzeigen. Um zu prüfen, inwieweit sich diese Zusammenhänge auch auf Symptomebene nachweisen lassen, wurden die Korrelationen der Dispositionssitems mit den drei am stärksten ausgeprägten Symptomen berechnet. Die Koeffizienten (für alle gilt $p < 0.05$) sind aufgeführt in der nachstehenden Tabelle 4.2-19.

Tabelle 4.2-19: Korrelationen zwischen den Dispositionssitems und den Symptomen „Allgemeines Unwohlsein“, „Übelkeit“ und „Magen macht sich bemerkbar“ für die jeweils letzte an beiden Trainingstagen noch absolvierte Fahrt.

		Allgemeines Unwohlsein		Übelkeit		Magen macht sich bemerkbar	
		Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2	Tag 1	Tag 2
Achterbahn fahren	r	0.318	0.296	0.303	0.269	0.240	0.220
	n	222	221	222	222	222	221
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw	r	0.346	0.407	0.380	0.357	0.333	0.309
	n	224	223	224	224	224	223
im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen	r	0.437	0.475	0.450	0.447	0.374	0.370
	n	224	223	224	224	224	223
Karussell fahren	r	0.361	0.399	0.340	0.356	0.218	0.246
	N	224	223	224	224	224	223
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit	r	0.412	0.358	0.358	0.321	0.355	0.295
	N	222	221	222	222	222	221
lange Mitfahrten im Auto oder Bus	r	0.390	0.404	0.346	0.394	0.284	0.365
	N	224	223	224	224	224	223
Lesen während der Mitfahrt im Pkw	r	0.431	0.410	0.425	0.392	0.384	0.378
	N	224	223	224	224	224	223
Schiffsreisen	r	0.360	0.257	0.331	0.254	0.227	0.158
	N	215	214	215	215	215	214
Dispositionsscore	r	0.544	0.527	0.527	0.499	0.439	0.426
	N	213	212	213	213	213	212

Ähnlich wie bei den Kennedy-Scores und dem dort gefundenen Zusammenhang zur Disposition zeigt sich auch bei den Einzelsymptomen, dass eine allgemeine Unverträglichkeit zumindest zu einem gewissen Teil in einem Zusammenhang mit der auftretenden Symptomatik steht. Die Koeffizienten liegen in schwacher bis mittlerer Höhe und sind an beiden Trainingstagen in etwa gleich ausgeprägt.

Sowohl bei den Korrelationen mit den Kennedy-Scores als auch mit den Einzelsymptomen lässt sich der Zusammenhang am besten über den Dispositionsscore abbilden, da dieser Unverträglichkeiten in verschiedenen Bewegungssituationen zusammenfasst.

4.2.3.6 Symptome Tag 1 und Tag 2

Auch bei den Einzelsymptomen stellt sich wie auf der Ebene der SSQ-Scores die Frage, inwieweit sich bei den Gruppen der Abbrecher/Nicht-Fahrer und der Vollständig-Fahrer die Symptomatik innerhalb der Gruppe während des Trainings verändert.

Für die Betrachtung der Symptomveränderungen innerhalb der Gruppen werden aus den sechzehn Einzelsymptomen die drei ausgewählt, die in beiden Gruppen in der letzten noch gefahrenen Fahrt am

stärksten ausgeprägt waren („Allgemeines Unwohlsein“, „Übelkeit“, „Magen macht sich bemerkbar“). Die nachfolgende Tabelle zeigt die Korrelationen der Ausprägungen dieser Symptome in der jeweils letzten an Tag 1 und Tag 2 noch absolvierten Fahrt für die Gesamtstichprobe sowie für die zwei betrachteten Gruppen getrennt.

Tabelle 4.2-20: Korrelationen zwischen den Symptomausprägungen („Allgemeines Unwohlsein“, „Übelkeit“ und „Magen macht sich bemerkbar“) der jeweils letzten noch absolvierten Fahrt des ersten und zweiten Trainingstages für die Vollständig-Fahrer (n=175), die Abbrecher/Nicht-Fahrer (n=49) und die Gesamtstichprobe (n=224). Für alle Korrelationen gilt $p < .001$.

	Vollständig-Fahrer		Abbrecher/Nichtfahrer		Gesamtstichprobe	
	r	N	r	N	r	N
Allgemeines Unwohlsein	0.702	175	0.488	48	0.725	223
Übelkeit	0.657	175	0.500	49	0.717	224
Magen macht sich bemerkbar	0.645	175	0.541	48	0.698	223

Für die Gesamtstichprobe ergeben sich mittlere bis hohe Korrelationskoeffizienten von ca. $r = .70$. Für diejenigen, die das Training vollständig absolvieren, liegen die Korrelationen in vergleichbarer Höhe zwischen $r = .65$ und $r = .70$. Bei den Abbrechern und Nicht-Fahrern sind dagegen die Korrelationskoeffizienten dieser drei Symptome nur mittelmäßig (r bewegt sich hier zwischen .49 und .54), d.h. in dieser Gruppe treten deutlich mehr Veränderungen in den Symptomausprägungen vom ersten auf den zweiten Tag auf. Der Mittelwertsvergleich (Tabelle 4.2-21) zeigt, dass es in der Gruppe der Abbrecher zu einer signifikanten Verringerung der Beschwerden am zweiten Trainingstag kommt, während in der Gruppe der Vollständig-Fahrer keine Unterschiede nachweisbar sind.

Tabelle 4.2-21: Differenzen der Symptomausprägungen der jeweils letzten Fahrten an beiden Trainingstagen (Tag 1-Tag 2). Ergebnisse der abhängigen t-Tests.

		Δm	sd	se	t	df	p
Vollständig-Fahrer	Allgemeines Unwohlsein	-0.051	0.680	0.051	-1.000	174.000	0.319
	Übelkeit	-0.017	0.739	0.056	-0.307	174.000	0.759
	Magen macht sich bemerkbar	0.057	0.684	0.052	1.105	174.000	0.271
Abbrecher/Nichtfahrer	Allgemeines Unwohlsein	0.604	0.869	0.125	4.818	47.000	0.000
	Übelkeit	0.592	0.934	0.133	4.438	48.000	0.000
	Magen macht sich bemerkbar	0.479	1.031	0.149	3.219	47.000	0.002

4.2.4 Nachwirkungen

Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit der Darstellung der nach Trainingsende an Tag 1 auftretenden und anhaltenden Nachwirkungen. Zunächst werden die insgesamt bei allen Trainingsteilnehmern auftretenden Nachwirkungsbeschwerden betrachtet. Mehr als die Hälfte der BiA (62.3%) bejaht am Morgen des zweiten Trainingstages die allgemeine Frage „Hatten Sie gestern nach dem Training andauernde Beschwerden?“. Lediglich $n=83$ BiA (37.7%) geben an, keine Nachwirkungen nach Trainingsende an Tag 1 verspürt zu haben. Vier Trainingsteilnehmer füllten den kompletten Fragebogenabschnitt zu den Nachwirkungen nicht aus.

Da einige der 16 SSQ-Symptome nur selten als Nachwirkung auftreten werden nur die Symptome betrachtet, die bei mindestens 15% der BiA als andauernde Beschwerden nach dem Training vorhanden sind. Die Grenze von 15% wurde festgelegt, um sicherzustellen, dass weitergehende Analysen mit ausreichender Stichprobengröße möglich sind. Die in der Auswertung berücksichtigten Symptome und ihre Auftretenshäufigkeiten sind Abbildung 4.2-23 zu entnehmen. Am häufigsten wird „Allgemeines Unwohlsein“ als Nachwirkung angegeben. Fast die Hälfte der Trainingsteilnehmer leidet darunter. Weiterhin gehören die Symptome „Übelkeit“ und „Magen macht sich bemerkbar“ zu den am häufigsten berichteten Nachwirkungen.

Die Symptome „Allgemeines Unwohlsein“ und „Übelkeit“ treten nicht nur am häufigsten auf, sondern dauern im Mittel mit 2.72 Stunden ($sd_{\text{übel}}=1.90$) bzw. 2.75 Stunden ($sd_{\text{unwohl}}=2.02$) auch am längsten an.

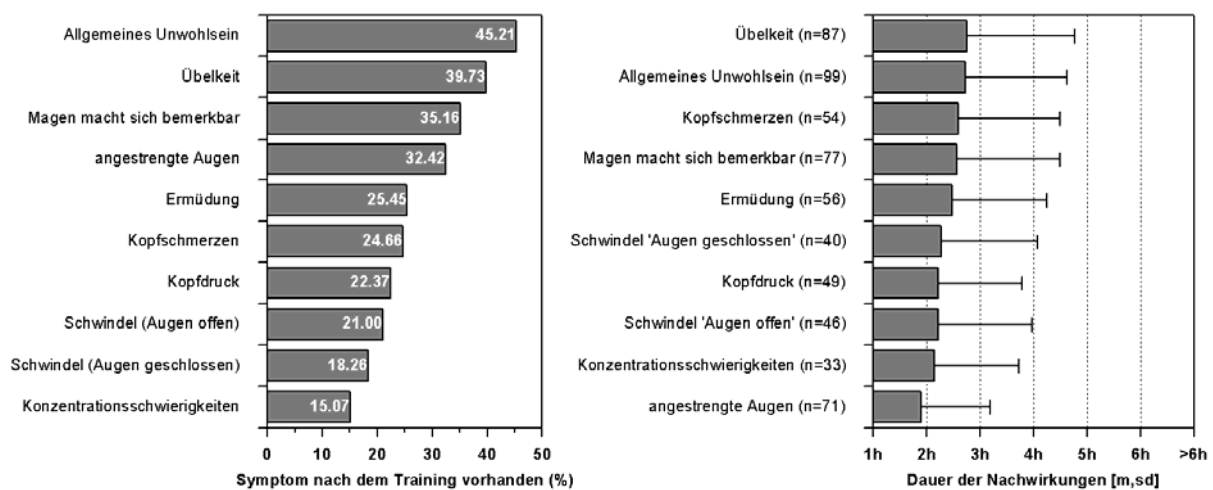


Abbildung 4.2-23: Prozentuale Häufigkeiten für die Symptome, die als Nachwirkung nach dem Training am ersten Tag bei mindestens 15% der Gesamtstichprobe auftraten (links) und deren mittlere Dauer (rechts).

4.2.4.1 Nachwirkungen und Geschlecht

Auch bei den Nachwirkungen sind Geschlechtsunterschiede von Interesse. Nachfolgend werden die Auftretenshäufigkeiten und die Dauer der Nachwirkungen bei Frauen und Männern betrachtet. Da drei Männer und eine Frau keine Angaben zu den Nachwirkungen machten und weiterhin bei $n=4$ BiA die Angaben zum Geschlecht fehlten, liegen die Daten von $n=155$ Männern und $n=61$ Frauen der Auswertung zugrunde. Es werden wiederum nur die Symptome betrachtet, die bei mindestens 15% der Gesamtstichprobe auftreten.

Etwa 74% der Frauen und rund 58% der Männer leiden nach dem Simulatortraining an Tag 1 unter anhaltenden Beschwerden. Somit berichten die weiblichen Trainingsteilnehmer häufiger Nachwirkungen als ihre männlichen Kollegen (χ^2 -Wert=4.61, $p=.032$).

Ähnliches zeigt sich bei der Betrachtung der Auftretenshäufigkeiten der einzelnen Symptome in Abbildung 4.2-24. Insgesamt treten bei Männern und Frauen die Symptome „Allgemeines Unwohlsein“, „Magen macht sich bemerkbar“, „angestrenzte Augen“ und „Übelkeit“ am häufigsten als Nachwirkung auf. Bei den meisten Symptomen sind jedoch mehr Frauen als Männer betroffen. Nur bei „Schwindel (Augen offen)“ und „Schwindel (Augen geschlossen)“ ist der prozentuale Anteil bei den Männern höher. Statistisch absichern lassen sich allein die Geschlechtsunterschiede bei den Symptomen „angestrenzte Augen“ (χ^2 -Wert=4.864, $p=.027$), „Kopfschmerzen“ (χ^2 -Wert=4.381, $p=.036$) und „Kopfdruck“ (χ^2 -Wert=8.529, $p=.003$). Das Symptom „Konzentrationschwierigkeiten“ (χ^2 -Wert=3.788, $p=.052$) tritt tendenziell ebenfalls häufiger bei den Frauen als Nachwirkung auf.

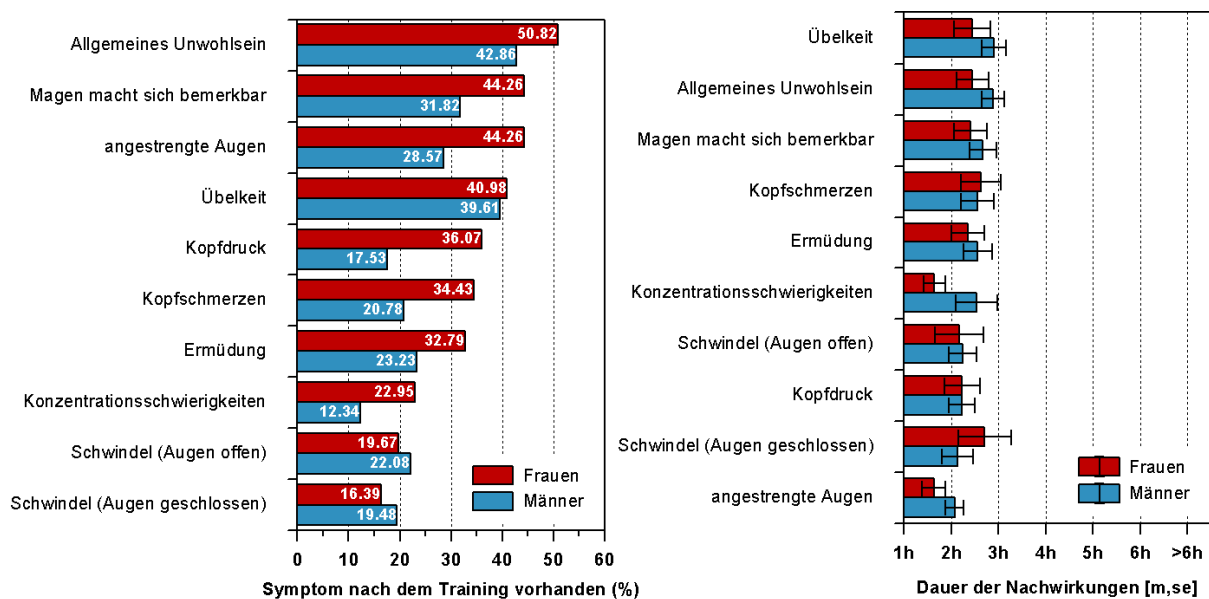


Abbildung 4.2-24: Auftretenshäufigkeiten einzelner Nachwirkungssymptome getrennt für Männer und Frauen (links) und deren mittlere Dauer (rechts).

Die mittlere Dauer der Nachwirkungen getrennt nach Geschlecht ist ebenfalls dargestellt in Abbildung 4.2-24 (rechts). Die Mittelwerte der Dauer der Nachwirkungen liegen in beiden Gruppen zwischen zwei und drei Stunden und weisen kaum Unterschiede auf. Die inferenzstatistische Prüfung mittels t-Test ergibt keine signifikanten Geschlechtsunterschiede für die Dauer der Nachwirkungen auf dem $\alpha=5\%$ -Niveau.¹⁶

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass sich Männer und Frauen bei der allgemeinen Frage nach dem Vorhandensein von Nachwirkungen signifikant unterscheiden ebenso wie bezüglich der Auftretenshäufigkeit bei einigen wenigen Einzelsymptomen. Für die Dauer der Nachwirkungen finden sich jedoch keine Geschlechtsunterschiede.

¹⁶ Die Verteilungen der Dauer sind bei allen Symptomen linksschief. Es finden sich auch Angaben bis zu sechs Stunden oder sogar darüber hinaus.

4.2.4.2 Nachwirkungen und Ausfall

In diesem Abschnitt geht es um die vergleichende Darstellung der Nachwirkungen bei den Vollständig-Fahrern (n=175) und den Abbrechern/Nicht-Fahrern (n=49). Aufgrund fehlender Angaben basiert die nachfolgende Auswertung auf den Angaben von n=174 Vollständig-Fahrern und n=46 Abbrechern/Nicht-Fahrern. Betrachtet werden wiederum die Symptome, die als Nachwirkungen bei mindestens 15% der Gesamtstichprobe auftreten.

Fast 90% der Trainingsabbrecher geben an, andauernde Beschwerden zu verspüren. Mehr als die Hälfte (54%) der Vollständig-Fahrer leidet ebenfalls unter Nachwirkungen nach Trainingsende an Tag 1. Im χ^2 -Test zeigt sich, dass signifikant mehr Abbrecher und Nicht-Fahrer als Vollständig-Fahrer auf die Frage „Hatten Sie gestern nach dem Training andauernde Beschwerden?“ mit „ja“ antworten (χ^2 -Wert=20.87, p=.000).

In Abbildung 4.2-25 ist zu erkennen, dass bei allen als Nachwirkung betrachteten Symptomen die Auftretenshäufigkeiten bei den Trainingsabbrechern höher sind als bei den Vollständig-Fahrern. Besonders deutlich zeigt sich dies bei den im Folgenden genannten Symptomen und wird durch χ^2 -Tests abgesichert: „Übelkeit“ (χ^2 -Wert=54.25, p=.000), „Allgemeines Unwohlsein“ (χ^2 -Wert=40.98, p=.000), „Magen macht sich bemerkbar“ (χ^2 -Wert=38.36, p=.000), „Schwindel (Augen offen)“ (χ^2 -Wert=39.02, p=.000), „Schwindel (Augen geschlossen)“ (χ^2 -Wert=24.80, p=.000) und „Kopfschmerzen“ (χ^2 -Wert=4.74, p=.029). Beim Symptom „Konzentrationschwierigkeiten“ (χ^2 -Wert=3.56, p=.059) zeigt sich ebenfalls tendenziell, dass mehr Trainingsabbrecher als Vollständig-Fahrer davon betroffen sind.

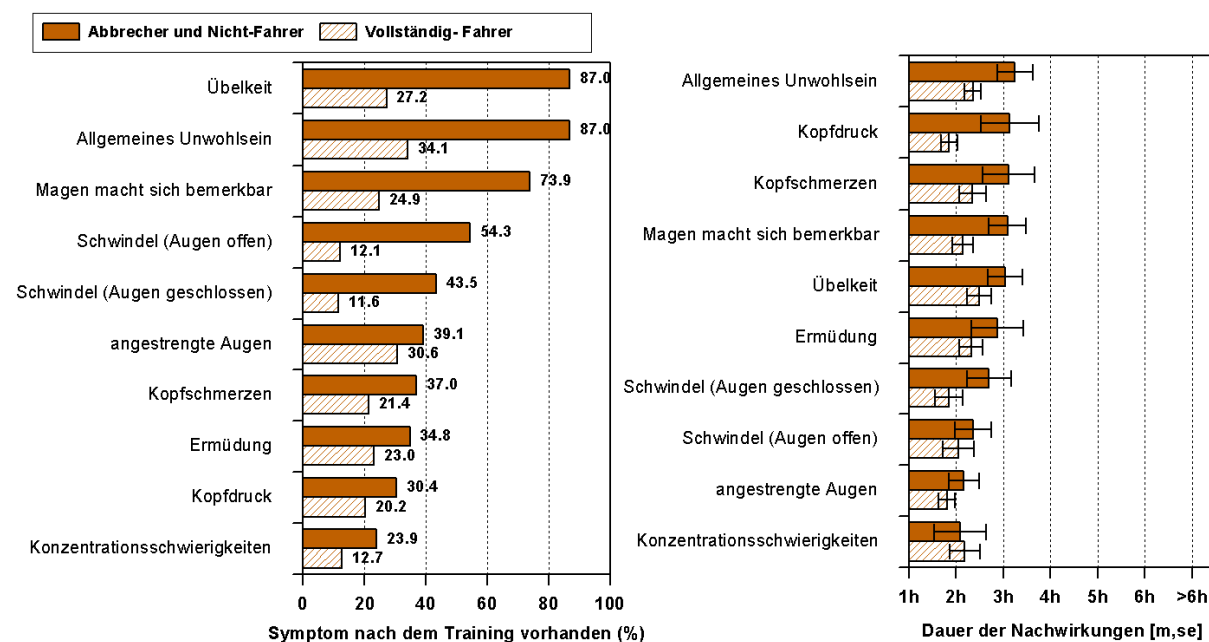


Abbildung 4.2-25: Auftretenshäufigkeiten einzelner Nachwirkungssymptome getrennt für die Vollständig-Fahrer und die Abbrecher und Nicht-Fahrer (links) und deren mittlere Dauer (rechts).

Die mittlere Dauer der Nachwirkungen getrennt für beide Gruppen ist dargestellt in Abbildung 4.2-24 (rechts). Die Mittelwerte für das Andauern der einzelnen Nachwirkungssymptome liegen für die Gruppe der Vollständig-Fahrer bei ca. zwei Stunden und für die Gruppe der Abbrecher und Nicht-Fahrer zwischen zwei und drei Stunden. Für die Gruppe der Trainingsabbrecher zeigt sich, dass die Symptome „Allgemeines Unwohlsein“, „Kopfdruck“, „Kopfschmerzen“, „Magen macht sich bemerkbar“ und „Übelkeit“ am längsten als Nachwirkungen vorhanden sind. Bei den Vollständig-Fahrern

gehören zu den am längsten andauernden Nachwirkungen „Übelkeit“, „Allgemeines Unwohlsein“, „Kopfschmerzen“, „Ermüdung“, „Konzentrationschwierigkeiten“ und „Magen macht sich bemerkbar“. Dabei ist die mittlere Nachwirkungsdauer bei denjenigen, die das Training irgendwann abgebrochen haben, nahezu bei allen Symptomen höher als bei denen, die das komplette Training absolviert haben. Signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den beiden Gruppen ergeben sich für die Symptome „Allgemeines Unwohlsein“ ($T[56.33]=-2.13$, $p=.038$) und „Magen macht sich bemerkbar“ ($T[52.26]=-2.08$, $p=.042$). Beim Symptom „Kopfdruck“ ($T[15.06]=-2.03$, $p=.060$) liegt der ermittelte p-Wert nur knapp über dem festgelegten Signifikanzniveau von 5%.¹⁷

4.2.4.3 Symptomatik Tag 1 und Nachwirkungen

Dieses Unterkapitel befasst sich mit der Frage nach den Zusammenhängen zwischen den Symptomausprägungen in der letzten Fahrt des ersten Tages und der Dauer der Nachwirkungen. Geprüft wird, ob diejenigen BiA, die während des Trainings hohe Symptomausprägungen aufweisen, auch unter lang andauernden Nachwirkungen leiden. Betrachtet werden die sechs Symptome, die während des Trainings am stärksten ausgeprägt sind und als Nachwirkungen auch häufig genug auftreten, damit sich für die Gruppenvergleiche, die weiter unten dargestellt werden, ausreichend große Teilstichproben ergeben.

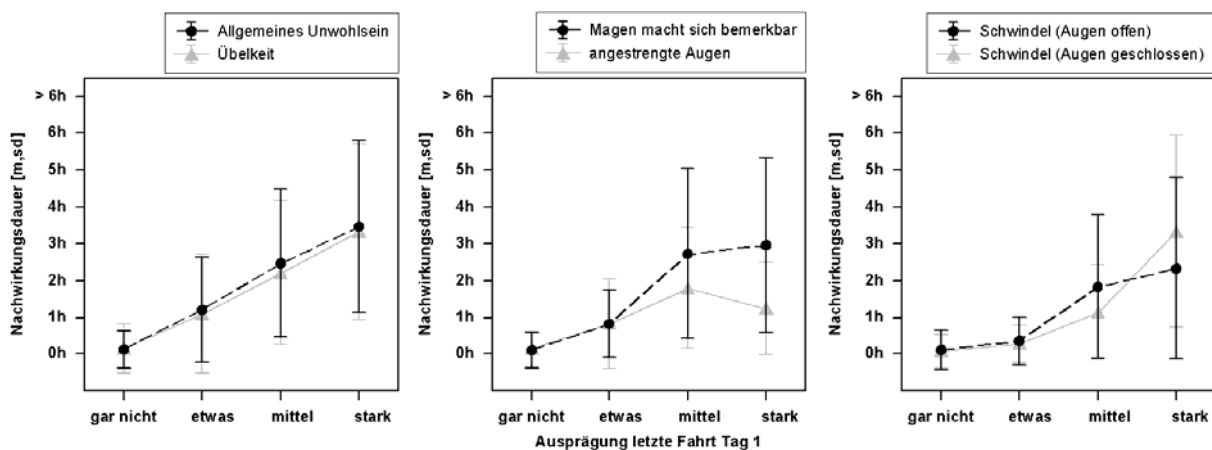


Abbildung 4.2-26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Nachwirkungsdauer der sechs betrachteten Symptome nach Aufteilung der Gesamtstichprobe in die vier möglichen Gruppen, die sich aufgrund der Ausprägungsbeurteilungen in der letzten an Tag 1 noch gefahrenen Fahrt ergeben.

Für die voran stehenden Grafiken (Abbildung 4.2-26) wurde die Gesamtstichprobe aufgeteilt anhand der Ausprägung der Symptome in der letzten an Tag 1 noch absolvierten Fahrt und pro Gruppe die durchschnittliche Nachwirkungsdauer ermittelt. Es zeigt sich bei den Symptomen „Allgemeines Unwohlsein“ und „Übelkeit“ sehr deutlich, dass mit zunehmender Symptomausprägung auch die mittlere Dauer der Nachwirkungen linear zunimmt.

Mit einem weniger starken Anstieg findet sich ebenfalls eine Zunahme der Nachwirkungsdauer bei den Symptomen „Schwindel“, „Magen macht sich bemerkbar“ und „angestrenzte Augen“.

¹⁷ In beiden Gruppen sind die Nachwirkungsdauern linksschief verteilt. Gerade bei den Abbrechern und Nicht-Fahrern finden sich auch Angaben von \geq sechs Stunden.

4.2.4.4 Nachwirkungen und Ausgangszustand Tag 2

Ebenso wichtig wie die Frage nach möglichen Auswirkungen der Symptomausprägung in der letzten an Tag 1 noch durchgeführten Fahrt auf die Dauer der Nachwirkungen ist die Frage nach einem möglichen Einfluss der Nachwirkungen auf die Ausprägung einzelner Symptome im Ausgangszustand am zweiten Trainingstag. In diesem Zusammenhang werden dieselben sechs Symptome wie im vorangegangenen Abschnitt betrachtet.

Für diese Analyse wird die Gesamtstichprobe und zwar getrennt für die einzelnen Symptome jeweils in zwei Gruppen – mit und ohne Nachwirkungen – eingeteilt. In der Abbildung 4.2-27 (links) sind die Mittelwerte und Standardfehler der Ausprägungen im Ausgangszustand aufgeführt. Die Ergebnisse der inferenzstatistischen Prüfung sind der Tabelle 4.2-22 zu entnehmen.

Erkennbar ist, dass die Trainingsteilnehmer, bei denen ein Symptom eine Stunde oder länger als Nachwirkung vorhanden war, auch eine höhere Ausprägung desselben Symptoms vor Trainingsbeginn an Tag 2 angeben, verglichen mit den BiA, die das entsprechende Symptom nicht als Nachwirkung berichten. Dies gilt für alle sechs betrachteten Symptome. Nicht zu entscheiden ist, ob es sich hierbei um tatsächliche Nachwirkungen handelt, oder ob erneute Beschwerden aufgrund der bevorstehenden Simulatorexposition antizipiert werden.

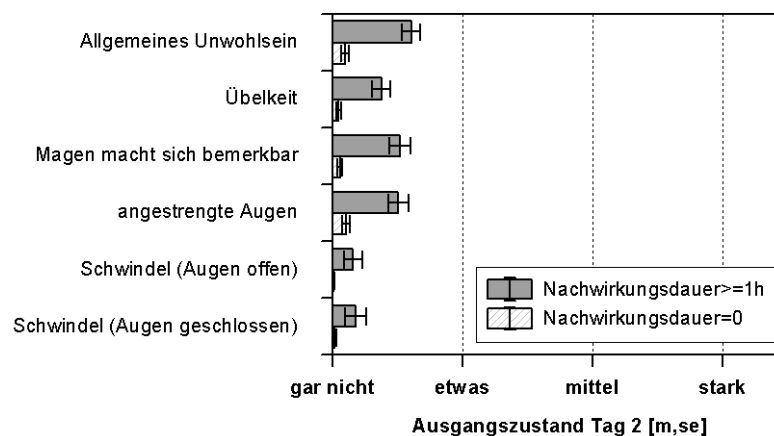


Abbildung 4.2-27: Mittelwerte und Standardfehler der Symptomausprägung im Ausgangszustand am zweiten Trainingstag bei den sechs betrachteten Symptomen für die Nachwirkungsdauer (0h' und '≥1h').

Tabelle 4.2-22: Ergebnisse der t-Tests auf Gruppenunterschiede im Ausgangszustand am zweiten Trainingstag.

	Levene- Test		T-Test		
	F	p.	t	df	p
Allgemeines Unwohlsein	126.913	0.000	-6.794	125.335	0.000
Übelkeit	131.558	0.000	-4.589	99.963	0.000
Magen macht sich bemerkbar	180.812	0.000	-5.513	83.819	0.000
Angestrengte Augen	92.458	0.000	-4.466	85.070	0.000
Schwindel (Augen offen)	59.409	0.000	-2.022	45.174	0.049
Schwindel (Augen geschlossen)	43.568	0.000	-1.911	40.168	0.063

4.2.5 Faktorstruktur und modifizierte Sickness-Scores

Unter Punkt 2.3.2.3 im Literaturüberblick wurde ausführlich die Vorgehensweise von Kennedy, Lane et al. (1993) zur Faktorisierung der Daten aus der Flugsimulation und die sich ergebenden Symptomprofile dargestellt. Für den vorliegenden Datensatz sollen analog zu diesen Berechnungen die Symptomprofile für den untersuchten Fahrsimulator ermittelt werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der dazu notwendigen Faktorenanalysen berichtet.

4.2.5.1 Analyse der Symptomstruktur

Zum Vergleich mit der SSQ-Symptomstruktur werden Faktorenanalysen getrennt für die Daten der letzten noch gefahrenen Fahrt der beiden Trainingstage durchgeführt. Diese Fahrten werden ausgewählt, da sie die individuell maximalen Symptomausprägungen abbilden und die höchste Stichprobenvarianz beinhalten. Es werden die Daten beider Trainingstage herangezogen, um zu sehen, inwieweit sich dieselben Symptomprofile an Tag 1 und Tag 2 ergeben. Als Extraktionsverfahren wird entsprechend dem Vorgehen von Kennedy, Lane et al. jeweils die Hauptachsenanalyse gewählt. Die Anzahl der zu extrahierenden Faktoren wird auf drei festgelegt, um die Ergebnisse der Faktorenanalysen mit denen zu vergleichen, die aus der SSQ-Entwicklung resultieren.

Betrachtet man die Eigenwerte der Faktoren in der anfänglichen Lösung (siehe Tabelle 4.2-23), findet sich für den jeweiligen ersten Faktor in beiden Lösungen ein hoher Eigenwert. Durch den ersten Faktor wird in beiden Fällen schon mehr als die Hälfte der Variablenvarianz erklärt. Die weiteren Faktoren weisen in der anfänglichen Lösung sehr viel kleinere Eigenwerte auf, die kaum größer als eins sind. Der dritte Faktor in der anfänglichen Lösung der Daten des zweiten Tages ist sogar kleiner als eins und würde dementsprechend unter Verwendung des Kaiser-Kriteriums (Eigenwert > 1) nicht berücksichtigt. Der Varianzerklärungsbeitrag dieses Faktors ist kleiner als der einer einzelnen Variablen.

Tabelle 4.2-23: Anfängliche Eigenwerte und Varianzaufklärung für die Daten der letzten an Tag 1 und Tag 2 noch gefahrenen Fahrten.

Tag 1			Tag 2				
	Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz		Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz
Faktor 1	8.03	50.21	50.21	Faktor 1	8.65	54.08	54.08
Faktor 2	1.52	9.50	59.72	Faktor 2	1.37	8.55	62.62
Faktor 3	1.14	7.13	66.84	Faktor 3	0.96	6.00	68.63

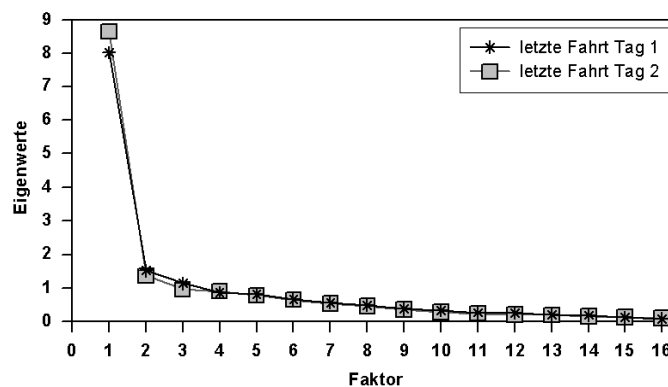


Abbildung 4.2-28: Eigenwertplot der für die Daten der jeweils letzten Fahrt an Tag 1 und Tag 2 durchgeführten Faktorenanalysen.

Die Screeplots beider Faktorenanalysen (siehe Abbildung 4.2-28) haben einen sehr ähnlichen Verlauf und sind fast deckungsgleich. Ein deutlicher Knick ist für beide Linien bei der Extraktion von zwei Faktoren vorhanden. Demnach legen die Screeplots eigentlich die Extraktion von nur einem Faktor nahe. Dennoch wurden in Anlehnung an den SSQ drei Faktoren extrahiert.

Die nachfolgende Tabelle 4.2-24 zeigt die Eigenwerte und Varianzerklärungsbeiträge der drei extrahierten Faktoren vor der Rotation. In beiden Analysen weist der jeweilige erste Faktor den größten Eigenwert auf und leistet den größten Beitrag zur Erklärung der Varianz der sechzehn Symptome. Die Faktoren zwei und drei tragen in beiden Faktorenanalysen nur zu einem geringen Anteil zur Erklärung der Variablenvarianz bei.

Tabelle 4.2-24: Eigenwerte und Varianzaufklärung der unrotierten Faktorlösungen der letzten an Tag 1 und Tag 2 noch gefahrenen Fahrten.

Tag 1			Tag 2				
	Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz		Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz
Faktor 1	7.67	47.94	47.94	Faktor 1	8.31	51.95	51.95
Faktor 2	1.15	7.17	55.11	Faktor 2	1.03	6.43	58.38
Faktor 3	0.72	4.47	59.58	Faktor 3	0.62	3.90	62.28

Tabelle 4.2-25 zeigt die Varimax-rotierten Faktorlösungen. Der Vorgehensweise von Kennedy, Lane et al. folgend werden Ladungen >.3 pro Faktor berücksichtigt. Diese sind in den folgenden Tabellen fett hervorgehoben. Es zeigen sich in beiden Ladungsmatrizen vor allem für den ersten Faktor relativ eindeutige Lösungen. Bei den verbleibenden zwei Faktoren gibt es zwar einige wenige Symptome, die eindeutig nur auf einem Faktor hoch laden, jedoch haben die meisten Symptome auf zwei oder sogar allen drei Faktoren Ladungen, die >.3 sind. Tabelle 4.2-26 stellt die sich für beide Trainingstage ergebenden Symptomcluster im Vergleich zu der von Kennedy, Lane et al. gefundenen Lösung dar.

Tabelle 4.2-25: Rotierte Faktorladungsmatrizen für die SSQ-Symptome der letzten an den beiden Trainingstagen durchgeführten Fahrt (Gesamtstichprobe).

SSQ-Symptom	Tag 1				Tag 2			
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Kommunalität	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Kommunalität
Übelkeit	0.770	0.181	0.476	0.85	0.858	0.240	0.274	0.87
Magen macht sich bemerkbar	0.710	0.187	0.380	0.68	0.776	0.293	0.212	0.73
Allgemeines Unwohlsein	0.683	0.238	0.459	0.73	0.768	0.237	0.268	0.72
Aufstoßen	0.575	0.324	0.091	0.44	0.598	0.171	0.228	0.44
Schwitzen	0.563	0.117	0.228	0.38	0.508	0.265	0.191	0.37
vermehrter Speichelfluss	0.541	0.259	0.065	0.36	0.450	0.235	0.239	0.31
angestrengte Augen	0.147	0.757	0.224	0.65	0.301	0.736	0.286	0.71
Verschwommenes Sehen	0.152	0.764	0.309	0.70	0.170	0.724	0.339	0.67
Schwierigk. Scharf zu sehen	0.202	0.714	0.284	0.63	0.201	0.665	0.358	0.61
Kopfdruck	0.330	0.518	0.365	0.51	0.540	0.630	0.180	0.72
Ermüdung	0.279	0.507	0.039	0.34	0.514	0.523	0.081	0.54
Konzentrationschwierigkeiten	0.467	0.506	0.392	0.63	0.458	0.521	0.445	0.68
Kopfschmerzen	0.347	0.446	0.282	0.40	0.346	0.468	0.169	0.37
Schwindel (Augen offen)	0.290	0.308	0.789	0.80	0.315	0.304	0.811	0.85
Schwindel (Augen zu)	0.276	0.294	0.784	0.78	0.378	0.368	0.746	0.83
Gleichgewichtsstörungen	0.329	0.337	0.649	0.64	0.299	0.423	0.517	0.54
Eigenwert	3.38	3.25	2.90		4.12	3.43	2.41	
%Varianz	21.14	20.33	18.12		25.78	21.44	15.06	

Allgemein finden sich für die zwei betrachteten Datensätze der letzten Fahrt eines Tages höhere Ladungen in den Faktorstrukturen und dementsprechend auch höhere Eigenwerte sowie ein höherer An-

teil an aufgeklärter Varianz verglichen mit der Studie von Kennedy, Lane et al.. Dies ist nicht verwunderlich, da in der hier untersuchten Stichprobe die einzelnen Symptome häufiger auftreten und auch stärker ausgeprägt sind im Vergleich zu der vorselektierten und trainierten fliegerischen Stichprobe, deren Angaben der SSQ-Faktorlösung zugrunde lagen (vgl. Punkt 2.3.2.3).

Die drei SSQ-Skalen NAUSEA, OCULOMOTOR und DISORIENTATION setzen sich als Ergebnis der damaligen Faktorenanalyse jeweils aus sieben Einzelsymptomen zusammen. Wie Tabelle 4.2-26 zeigt, werden diese Zuordnungen bei den zwei hier vorliegenden Datensätzen nicht gefunden. Die Anzahl der Symptome pro Faktor ist in den Faktorlösungen beider Tage größer als sieben mit Ausnahme der letzten Fahrt an Tag 2, bei der sich der dritte Faktor nur aus sechs Symptomen zusammensetzt. In den gefundenen Faktorlösungen beider Tage gibt es je nur sechs Variablen, die lediglich auf einem Faktor eine Ladung >.3 haben.

Tabelle 4.2-26: Darstellung der für die jeweilige letzte Fahrt eines Tages gefundenen Symptomcluster im Vergleich zu der von Kennedy, Lane et al. (1993) gefundenen Faktorlösung (SSQ) mit den drei Faktoren NAUSEA (N), OCULOMOTOR (O) und DISORIENTATION (D). Unterschiedliche Graustufen repräsentieren zusammengehörige Symptommuster, ein ++ kennzeichnet jeweils die größte Faktorladung eines Symptoms, ein + weitere Ladungen >.3.

Symptom	SSQ			letzte Fahrt Tag 1			letzte Fahrt Tag 2		
	N	O	D	F 1	F2	F3	F 1	F2	F3
Übelkeit	++		+	++		+	++		
Magen macht sich bemerkbar	++			++		+	++		
Allgemeines Unwohlsein	++	+		++		+	++		
Aufstoßen	++			++	+		++		
vermehrter Speichelfluss	++			++			++		
Schwitzen	++			++			++		
angestrenzte Augen		++			++		+	++	
Verschwommenes Sehen		+	++		++	+		++	+
Schwierigkeiten scharf zu sehen		++	+		++			++	+
Kopfdruck			++	+	++	+	+	++	
Kopfschmerzen		++		+	++		+	++	
Konzentrationschwierigkeiten	+	++		+	++	+	+	++	+
Ermüdung		++			++		+	++	
Schwindel (Augen offen)			++		+	++	+	+	++
Schwindel (Augen geschlossen)			++			++	+	+	++
Gleichgewichtsstörungen			++	+	+	++		+	++
Eigenwert	2.21	2.11	1.98	3.38	3.25	2.90	4.12	3.43	2.41
% Varianz	14	13	12	21.14	20.33	18.12	25.78	21.44	15.06

Betrachtet man die höchsten Ladungen, mit der ein Symptom auf einem Faktor lädt, so zeigt sich für den NAUSEA-Faktor eine Übereinstimmung zwischen den Kennedy-Daten und den hier vorliegenden Daten. Allerdings ergeben sich in der letzten an Tag 1 noch gefahrenen Fahrt weitere bedeutsame Ladungen >.3 auf dem zweiten Faktor („Aufstoßen“) und auf dem dritten Faktor („Übelkeit“, „Magen macht sich bemerkbar“ und „Allgemeines Unwohlsein“). Während bei Kennedy, Lane et al. „Übelkeit“ ebenfalls zusätzlich auf dem DISORIENTATION-Faktor lädt, gehört „Allgemeines Unwohlsein“ mit zum Faktor OCULOMOTOR. Für die letzte an Tag 2 noch absolvierte Fahrt zeigt sich für die Symptome, die am höchsten auf dem ersten Faktor laden, eine eindeutigere Struktur als in der SSQ-Lösung, da keine weiteren bedeutsamen Ladungen auf den beiden anderen Faktoren auftreten.

Bei den verbleibenden zwei Faktoren, die bei Kennedy, Lane et al. die Cluster OCULOMOTOR und DISORIENTATION darstellen, liegt ein wesentlicher Unterschied darin, dass bezogen auf die Hauptladungen in den zwei vorliegenden Datensätzen die Symptome „verschwommenes Sehen“ und „Kopfdruck“ mit der höchsten Faktorladung jeweils auf dem zweiten Faktor liegen und nicht wie bei Kennedy, Lane et al. auf dem DISORIENTATION-Faktor. Damit wird der dritte Faktor bezogen auf die

Hauptladungen primär nur von den drei Symptomen „Schwindel (Augen offen)“, „Schwindel (Augen geschlossen)“ und „Gleichgewichtsstörungen“ bestimmt. So unterscheiden sich die neben dem Faktor mit den NAUSEA-Symptomen gefundenen Faktoren deutlich von den Kennedy-Symptomclustern OCULOMOTOR und DISORIENTATION.

Die Festlegung, ab wann eine Faktorladung bedeutsam ist und die entsprechenden Variablen zur Interpretation des Faktors herangezogen werden, ist letztlich der Entscheidung des Untersuchers unterworfen. In der Stichprobe, anhand derer der SSQ entwickelt wurde, war aufgrund der geringen Symptommvarianz die Festlegung, Ladungen $>.3$ als bedeutsam anzusehen, nötig. Die Ladung einer Variablen auf einem Faktor zu $.3$ beinhaltet jedoch, dass der Faktor nur etwa 9% der Varianz dieser Variable erklärt, was ein geringer Erklärungsanteil ist. Bei einer Ladung zu $.5$ sind es bereits etwa 25% Varianzaufklärung. Für die hier untersuchte Stichprobe bilden sich unter Berücksichtigung von Ladungen $\geq .5$ die hellgrau unterlegten Symptomprofile in Tabelle 4.2-26. Weiterhin würden sich auf diese Weise bei deutlich weniger Symptomen bedeutsame Ladungen auf mehreren Faktoren ergeben.

Ebenso wie bei der Entwicklung des SSQ gibt die Tatsache, dass einige der Symptome auf verschiedenen Faktoren bedeutsame Ladungen haben, Hinweise darauf, dass die Symptome untereinander einen großen Anteil der Varianz gemein haben. So lässt sich ein Generalfaktor annehmen, auf dem alle Variablen hohe Ladungen haben, und der die allen Variablen gemeinsame Varianz abbildet. Dieser lässt sich erfassen mit einer hierarchischen Faktorenanalyse. Neben dem Generalfaktor (=sekundärer Faktor) lassen sich mit dieser Methode weitere Faktoren extrahieren (=primäre Faktoren), die durch das „Rausfiltern“ der gemeinsamen Varianz aller Variablen eine „sauberere“ Faktorstruktur aufweisen.

Die folgenden zwei Tabellen zeigen die Resultate der durchgeführten hierarchischen Faktorenanalysen für die Datensätze der letzten noch gefahrenen Fahrt am ersten Trainingstag (Tabelle 4.2-27) und am zweiten Trainingstag (Tabelle 4.2-28). Es zeigt sich in beiden Analysen tatsächlich bei den primären Faktoren eine eindeutiger Struktur, die auch den entsprechenden VARIMAX-rotierten Lösungen gleicht. Für den Datensatz der letzten an Tag 1 noch durchgeführten Fahrt laden alle Symptome bis auf die „Konzentrationsschwierigkeiten“ hauptsächlich auf einem Faktor, wobei die Ladungen auf den übrigen Faktoren größtenteils $\approx .10$ (=„unbedeutend“) sind. Das Symptom „Konzentrationsschwierigkeiten“ hat zwar genau genommen die höchste Ladung auf dem zweiten Faktor, jedoch sind die Ladungen dieses Symptoms auf allen Faktoren ziemlich gering und liegen für den ersten und den zweiten Faktor in einer vergleichbaren Größenordnung.

Auch im Ergebnis der für die Daten der letzten an Tag 2 noch absolvierten Fahrt führt die hierarchische Faktorenanalyse bei den meisten Symptomen zu hohen Ladungen auf nur einem Faktor und Ladungen $\approx .10$ auf den weiteren Faktoren. Das Symptom „Konzentrationsschwierigkeiten“ weist wieder nur geringe Faktorladungen auf, die in diesem Fall sogar auf allen drei Faktoren in etwa gleich groß sind. Die gleiche Uneindeutigkeit bezüglich der Zuordnung bei diesem Symptom zeigte sich auch in der hierarchischen Lösung von Kennedy, Lane et al. (vgl. Tabelle 2.3-2 im Literaturüberblick). Das Symptom „Ermüdung“ hat zwar keine allzu geringen Ladungen, jedoch sind die zu diesem Symptom gehörenden Ladungen des ersten und zweiten Faktors fast identisch hoch, was eine eindeutige Zuordnung erschwert.

Die eindeutigste Faktorstruktur findet sich für die Daten des ersten Trainingstages. Nach der Extraktion des Generalfaktors laden alle Symptome bei den Primärfaktoren hauptsächlich auf einem Faktor, wobei die Ladungen auf den übrigen Faktoren größtenteils $\approx .10$ (=„unbedeutend“) sind.

Ähnlich der SSQ-Faktorlösung erweist sich das Symptom „Konzentrationsschwierigkeiten“ als nicht eindeutig einem Faktor zugehörig. Dieses Symptom hat nach der Extraktion des Generalfaktors auf allen drei Primärfaktoren geringe Ladungen. Für die Daten des ersten Trainingstages gilt, dass sie prinzipiell das mögliche Maximum der Symptomausprägung nach den ersten Simulatorexpositionen abbilden. Da am ersten Trainingstag noch mehr Fahrabbrüche stattfinden und am zweiten Trainingstag primär Fahrtausfälle, ist davon auszugehen, dass die Daten des ersten Tags die wahren Symptom-

ausprägungen am deutlichsten abbilden. Das Symptom „Konzentrationsschwierigkeiten“ wird deshalb dem Faktor Okulomotorik zugeordnet.

Tabelle 4.2-27: Ergebnisse der hierarchischen Faktorenanalyse für die SSQ-Symptome der letzten an Tag 1 noch durchgeführten Fahrt (Gesamtstichprobe). Ladungen $>.3$ sind fett markiert.

SSQ-Symptom	G	hierarchische Faktoren			Kommunalität
		Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	
Übelkeit	0.772	0.461	-0.149	0.149	0.85
Magen macht sich bemerkbar	0.691	0.433	-0.105	0.089	0.68
Allgemeines Unwohlsein	0.749	0.385	-0.083	0.146	0.74
Aufstoßen	0.536	0.357	0.109	-0.124	0.44
Schwitzen	0.468	0.353	0.074	-0.126	0.37
vermehrter Speichelfluss	0.490	0.367	-0.087	0.020	0.38
angestrengte Augen	0.620	-0.103	0.494	-0.003	0.64
verschwommenes Sehen	0.674	-0.121	0.478	0.059	0.70
Schwierigkeiten scharf zu sehen	0.659	-0.066	0.438	0.037	0.63
Kopfdruck	0.664	0.062	0.236	0.105	0.51
Ermüdung	0.587	0.110	0.200	0.051	0.40
Konzentrationsschwierigkeiten	0.744	0.167	0.191	0.095	0.63
Kopfschmerzen	0.452	0.097	0.328	-0.131	0.34
Schwindel (Augen offen)	0.757	-0.013	-0.035	0.473	0.80
Schwindel (Augen geschlossen)	0.739	-0.019	-0.041	0.473	0.77
Gleichgewichtsstörungen	0.718	0.040	0.016	0.355	0.64
Eigenwert	6.83	1.02	0.97	0.70	
%Varianz	42.72	6.37	6.08	4.38	

Tabelle 4.2-28: Ergebnisse der hierarchischen Faktorenanalyse für die SSQ-Symptome der letzten an Tag 2 noch durchgeführten Fahrt (Gesamtstichprobe). Ladungen $>.3$ sind fett markiert.

SSQ-Symptom	G	hierarchische Faktoren			Kommunalität
		Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	
Übelkeit	0.750	0.541	-0.104	0.004	0.87
Magen macht sich bemerkbar	0.708	0.479	-0.030	-0.039	0.73
Allgemeines Unwohlsein	0.696	0.474	-0.088	0.020	0.72
Aufstoßen	0.543	0.369	-0.093	0.042	0.44
Schwitzen	0.534	0.281	0.011	0.010	0.36
vermehrter Speichelfluss	0.507	0.232	-0.016	0.069	0.32
angestrengte Augen	0.756	-0.028	0.369	0.034	0.71
verschwommenes Sehen	0.704	-0.140	0.375	0.103	0.67
Schwierigkeiten scharf zu sehen	0.693	-0.105	0.313	0.130	0.61
Kopfdruck	0.773	0.213	0.288	-0.094	0.73
Ermüdung	0.645	0.246	0.249	-0.150	0.56
Konzentrationsschwierigkeiten	0.789	0.113	0.128	0.174	0.68
Kopfschmerzen	0.559	0.105	0.198	-0.012	0.36
Schwindel (Augen offen)	0.750	-0.020	-0.085	0.499	0.82
Schwindel (Augen geschlossen)	0.796	0.022	-0.045	0.443	0.83
Gleichgewichtsstörungen	0.676	-0.001	0.084	0.266	0.53
Eigenwert	7.54	1.18	0.62	0.62	
%Varianz	47.10	7.36	3.88	3.85	

Die nachfolgende Tabelle 4.2-29 zeigt die Korrelationen der schiefwinkligen Faktoren. Die Faktoren korrelieren untereinander hoch, d.h. sie liegen im Faktorenraum auch sehr nah beieinander. Es ergeben sich für alle Symptome in beiden durchgeführten Analysen hohe Ladungen auf dem jeweiligen Generalfaktor. Dementsprechend hat dieser sekundäre Faktor auch jeweils einen hohen Eigenwert, was wiederum einen hohen Anteil an aufgeklärter Varianz nach sich zieht (siehe auch Tabelle 4.2-30). Da in der vorliegenden Stichprobe mehr Varianz in den Daten vorhanden ist als in den SSQ-Daten, zeigt sich auch im Ergebnis der hierarchischen Faktorenanalysen ein höherer Anteil an aufgeklärter Varianz im Vergleich zur hierarchischen SSQ-Faktorlösung (vgl. Tabelle 2.3-2 im Literaturüberblick).

Tabelle 4.2-29: Korrelationen der schiefwinkligen Faktoren für beide hierarchischen Faktorenanalysen.

Tag 1 Faktor	Tag 2			Tag 2 Faktor	Tag 2		
	1	2	3		1	2	3
1	1.00	0.69	0.75	1	1.00	0.78	0.80
2	0.69	1.00	0.74	2	0.78	1.00	0.75
3	0.75	0.74	1.00	3	0.80	0.75	1.00

Tabelle 4.2-30 ist zu entnehmen, dass bezüglich der Ergebnisse für die Daten des ersten Trainingstages der Generalfaktor 42.7% der Varianz aufklärt und somit etwa 72% der gesamt aufgeklärten Varianz (59.6%) extrahiert. Für die Daten des zweiten Trainingstages ergibt die hierarchische Faktorenanalyse für den Generalfaktor einen Varianzanteil von 47.1%, der damit sogar knappe 76% der gesamt aufgeklärten Varianz (62.2%) für sich beansprucht. Somit verbleibt für die Primärfaktoren insgesamt jeweils nur ein geringer Varianzanteil von 28% bzw. 24%.

Tabelle 4.2-30: Eigenwerte und Varianzaufklärung der VARIMAX-rotierten Faktorenanalysen und der hierarchischen Faktorenanalysen der letzten an Tag 1 und Tag 2 noch gefahrenen Fahrt.

	VARIMAX-rotierte FA			hierarchische FA			
	Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz	Eigenwert	% Varianz	kum. Varianz	
Tag 1				G-Faktor	6.8	42.7	42.7
	Faktor 1	3.4	21.1	Faktor 1	1.0	6.4	49.1
	Faktor 2	3.3	20.3	Faktor 2	1.0	6.1	55.2
	Faktor 3	2.9	18.1	Faktor 3	0.7	4.4	59.6
Tag 2				G-Faktor	7.5	47.1	47.1
	Faktor 1	4.1	25.8	Faktor 1	0.6	3.9	51.0
	Faktor 2	3.4	21.4	Faktor 2	1.2	7.4	58.3
	Faktor 3	2.4	15.1	Faktor 3	0.6	3.8	62.2

Als stärkster Faktor geht aus allen vier Faktorenanalysen Faktor 1 hervor. Die resultierenden Symptomprofile für die vorliegende in der Fahrsimulation untersuchte Stichprobe sind dargestellt in Tabelle 4.2-31. Diese Profile beschreiben den Einfluss der Simulatorexposition auf verschiedene Zielsysteme innerhalb des Menschen ähnlich wie die SSQ-Symptomprofile. Die von Kennedy, Lane et al. (1993) verwendeten Bezeichnungen der Faktoren werden beibehalten und mit dem Zusatz „modifiziert“ („mod“) gekennzeichnet. Die sechs Symptome „Übelkeit“, „Magen macht sich bemerkbar“, „Allgemeines Unwohlsein“, „Aufstoßen“, „vermehrter Speichelfluss“ und „Schwitzen“ kennzeichnen eine allgemeine Übelkeitsreaktion (Faktor Übelkeit/NAUSEA_{mod}). Die sieben Symptome des zweiten Faktors betreffen vollständig den Kopf- und Augenbereich (Faktor Okulomotorik / OCULOMOTOR_{mod}). Sie haben eine starke visuelle Komponente. Mit nur drei Symptomen ist der dritte Faktor ziemlich schwach, beinhaltet aber ausschließlich die Beschwerden, die Störungen des Gleichgewichts beschreiben (Desorientierung / DISORIENTATION_{mod}). So werden zwar die ursprünglichen Benennungen der Faktoren aus dem SSQ übernommen, aber sie sind mit dieser Anordnung der Symptome doch eindeutiger, deutlich besser interpretierbar und verständlicher charakterisiert als in der SSQ-Version. Im Vergleich zum SSQ wird hier keines der Symptome mehrfach zu verschiedenen Faktoren zugeordnet.

Tabelle 4.2-31: Modifizierte Symptomprofile.

Faktor 1 NAUSEA_{mod}	Faktor 2 OCULOMOTOR_{mod}	Faktor 3 DISORIENTATION_{mod}
Übelkeit	Angestrenzte Augen	Schwindel (Augen offen)
Magen macht sich bemerkbar	verschwommenes Sehen	Schwindel (Augen geschlossen)
Allgemeines Unwohlsein	Schwierigkeiten scharf zu sehen	Gleichgewichtsstörungen
Schwitzen	Kopfdruck	
Aufstoßen	Kopfschmerzen	
vermehrter Speichelfluss	Konzentrationschwierigkeiten	
	Ermüdung	
Summe der Symptomurteile= ΣN	Summe der Symptomurteile= ΣO	Summe der Symptomurteile= ΣD
$N_{mod} = \Sigma N / 6$	$O_{mod} = \Sigma O / 7$	$D_{mod} = \Sigma D / 3$

4.2.5.2 Berechnung modifizierter Sickness-Scores

Für diese neuen Symptomprofile lassen sich ebenfalls Skalenwerte berechnen, deren Berechnungsformeln in der letzten Zeile von Tabelle 4.2-31 angegeben sind. Berechnet werden die Mittelwerte der Symptomausprägungen pro Skala. Der modifizierte Total Score (TS_{mod}) ergibt sich entsprechend als Mittelwert der drei Subskalenwerte: $TS_{mod} = \Sigma(N_{mod}, O_{mod}, D_{mod}) / 3$. Somit ergibt sich als Score ebenfalls ein Wert auf der vierstufigen verwendeten Symptombeurteilungsskala.

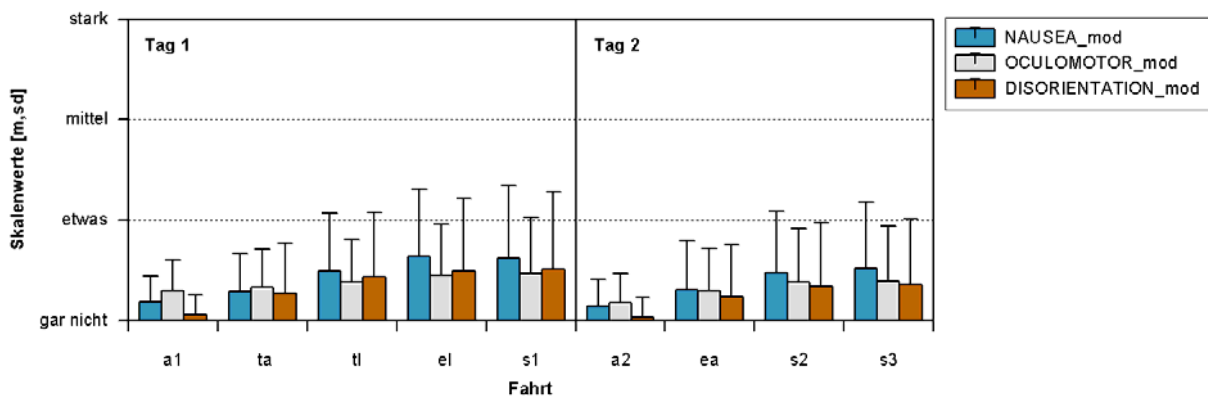


Abbildung 4.2-29: Mittelwerte und Standardabweichungen der modifizierten NAUSEA-, OCULOMOTOR- und DISORIENTATION-Skalenwerte im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten für die Gesamtstichprobe.

Abbildung 4.2-29 und Abbildung 4.2-30 zeigen die mittleren modifizierten Skalenwerte für die Gesamtstichprobe im Ausgangszustand und die einzelnen Trainingsfahrten. Die Perzentile der jeweils letzten Fahrten an beiden Trainingstagen sind der Abbildung 4.2-31 zu entnehmen.

Es ist erkennbar, dass der Schwerpunkt der Symptomatik im vorliegenden Fahrsimulationstraining bei der NAUSEA-Skala liegt. Das Bild der Symptomatik, welches diese modifizierten Scores vermitteln, spiegelt also die Ergebnisse der Analyse auf Einzelsymptomebene wider. Im Verlauf der Fahrten zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg aller Skalenwerte pro Tag, wobei zwischen den Tagen eine Erholung deutlich wird. Als Ausgangszustandsprofil – ebenso wie in der Trainingsfahrt-Bundesautobahn an Tag 1 (ta) – ergibt sich an beiden Tagen $O > N > D$, während des Trainings an Tag 1 ist das vorherrschende Profil $N > D > O$ und an Tag 2 $N > O > D$.

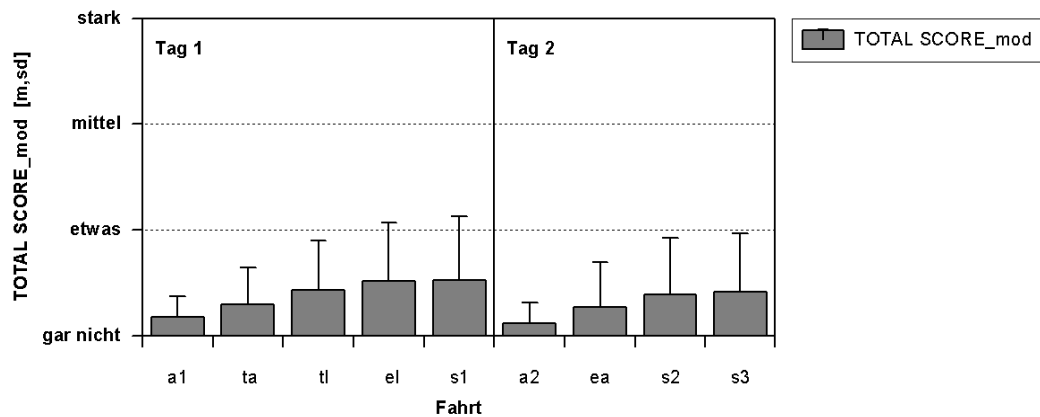


Abbildung 4.2-30: Mittelwerte und Standardabweichungen der modifizierten TOTAL SCORE-Skalenwerte im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten für die Gesamtstichprobe.

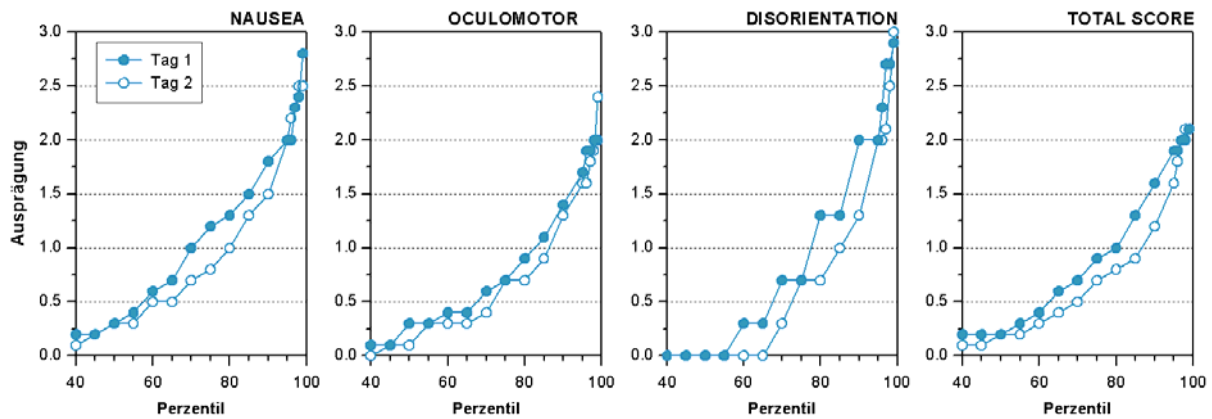


Abbildung 4.2-31: Perzentile der modifizierten Subskalen und des TOTAL SCORE.

Die neuen Scores getrennt für Männer und Frauen sind im Verlauf des Trainings dargestellt in Abbildung 4.2-32 und Abbildung 4.2-33. Auch hier zeigt sich jeweils in beiden Gruppen im Verlauf der einzelnen Simulatorfahrten pro Tag ein Anstieg der Scores von der ersten zur letzten Fahrt. Von der letzten Fahrt an Tag 1 (Einsatzfahrt Stadt I – s1) zum Ausgangszustand des zweiten Trainingstages nehmen die Scores wieder ab. Sowohl bei Männern als auch bei den Frauen sind wiederum die NAUSEA-Skalenwerte am stärksten ausgeprägt. In beiden Gruppen ergibt sich wie in der Gesamtstichprobe im Ausgangszustand an beiden Tagen (a1 und a2) und der Trainingsfahrt-Bundesautobahn (ta) ein O>N>D Profil. Bei den weiblichen Trainingsteilnehmern tritt das gleiche Profil zusätzlich noch in der Einsatzfahrt-Bundesautobahn (ea) am zweiten Trainingstag auf. Bei den verbleibenden Fahrten findet sich bis auf die dritte Fahrt des ersten Tages (N>D>O) das Symptomprofil N>O>D. Bei den Männern ist es genau umgekehrt: hier zeigt sich das N>D>O Profil in den drei letzten Fahrten des ersten Tages (tl, el, s1) und den zwei letzten Fahrten an Tag 2 (s2, s3). In der Einsatzfahrt-Bundesautobahn an Tag 2 (ea) ergibt sich für die Männer N>O>D als Symptomprofil. Auf allen vier modifizierten Skalen wird deutlich, dass bei den Frauen höhere Skalenwerte auftreten.

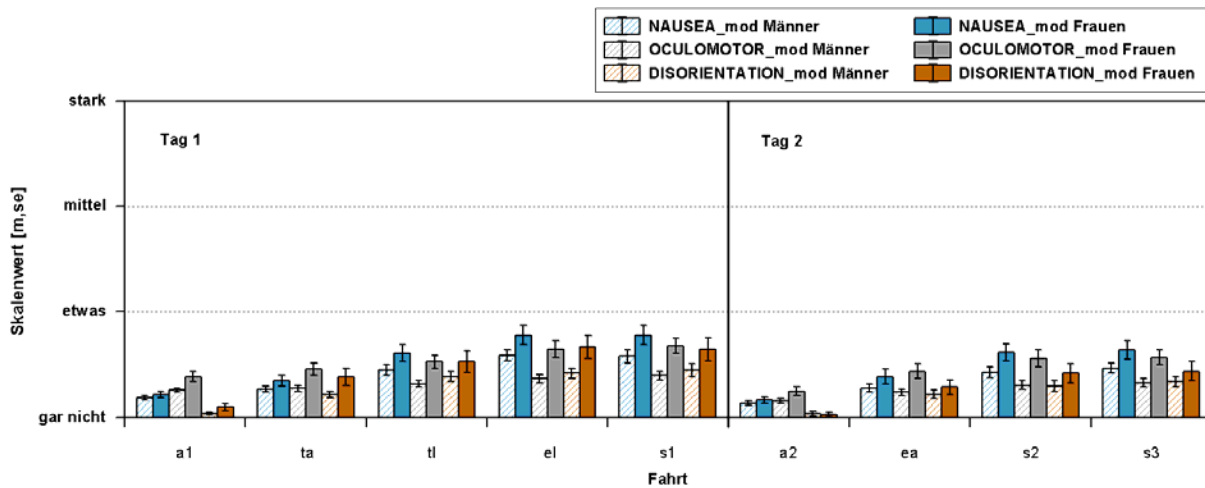


Abbildung 4.2-32: Mittelwerte und Standardabweichungen der modifizierten NAUSEA-, OCULOMOTOR- und DISORIENTATION-Skalenwerte im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten getrennt für die Geschlechter.

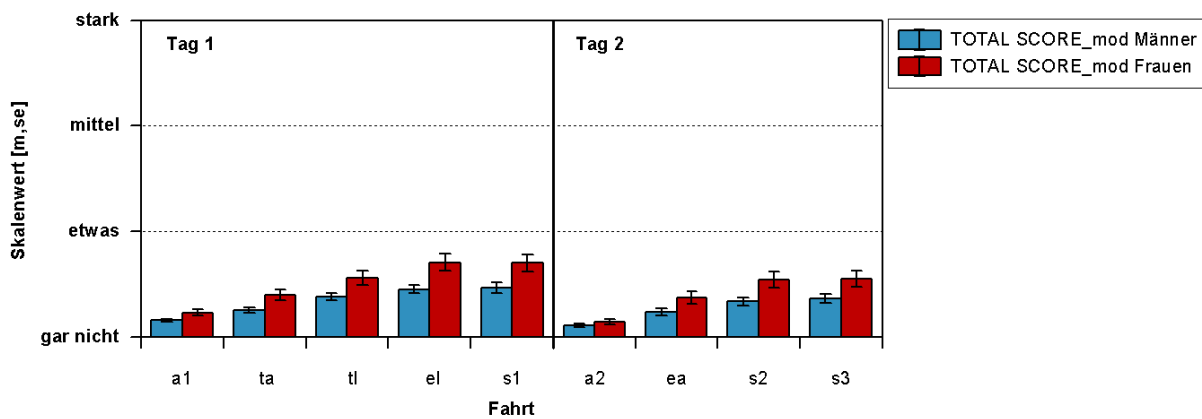


Abbildung 4.2-33: Mittelwerte und Standardabweichungen der modifizierten TOTAL SCORES im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten getrennt für die Geschlechter.

Unter Berücksichtigung der Gruppeneinteilung Vollständig-Fahrer und Abbrecher/Nicht-Fahrer zeigen Abbildung 4.2-34 und Abbildung 4.2-35 für die vorliegenden Daten die Scores_{mod} im Ausgangszustand und in den sieben Fahrten. Hier sieht man besonders deutlich, dass gerade bei den Trainingsabbrüchen die NAUSEA-Werte am höchsten in der dritten und vierten Fahrt des ersten Tages (el und s1) ausgeprägt sind. Sie werden in diesen beiden Fahrten durchschnittlich als ‚mittel‘ ausgeprägt beurteilt. Ähnliches wurde auch bereits auf Einzelsymptomebene gezeigt. In allen sieben Fahrten berichten die Trainingsabbrecher im Vergleich zu den Vollständig-Fahrern deutlich höhere Werte. Bei den Abbrechern und Nicht-Fahrern zeigt sich im Ausgangszustand Tag 1 ebenso wie für die Gesamtstichprobe das Profil O>N>D. In den sieben Simulatorfahrten findet sich für diese Gruppe ein stabiles N>D>O Profil. Von der letzten Fahrt an Tag 1 (s1) zum Ausgangszustand Tag 2 (a2) sinken die ermittelten Scores auf allen Skalen, aber auch bereits vor dem Training Tag 2 ist die NAUSEA_{mod}-Skala am stärksten ausgeprägt (N>O>D). Bei den Vollständig-Fahrern zeigt sich an beiden Tagen im Ausgangszustand (a1 und a2) sowie an Tag 1 in den ersten zwei Fahrten (ta und tl) und an Tag 2 in der ersten Fahrt (ea) als Profil O>N>D. In den beiden letzten Fahrten eines Tages ergibt sich für diese Gruppe ein N>O>D Profil. Generell zeigt sich in beiden Gruppen ein Anstieg aller vier Scores von der ersten zur letzten Fahrt pro Trainingstag, dabei ist die Zunahme der Werte in der Gruppe der Trainingsabbrecher deutlich stärker.

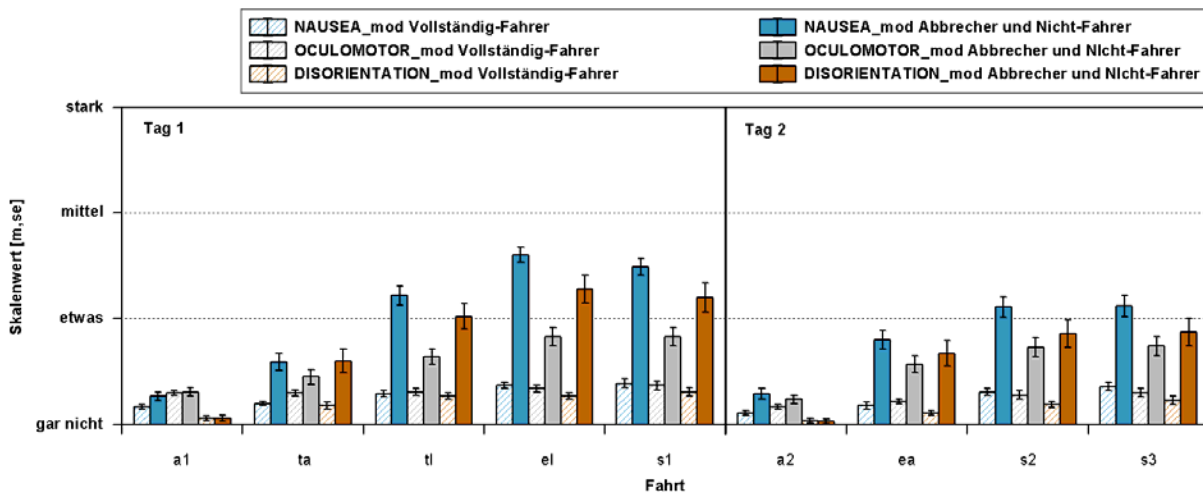


Abbildung 4.2-34: Mittelwerte und Standardabweichungen der NAUSEA_{mod}, OCULOMOTOR_{mod}- und DISORIENTATION_{mod}-Skalenwerte im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten getrennt für die Vollständig-Fahrer und die Abbrecher/Nicht-Fahrer.

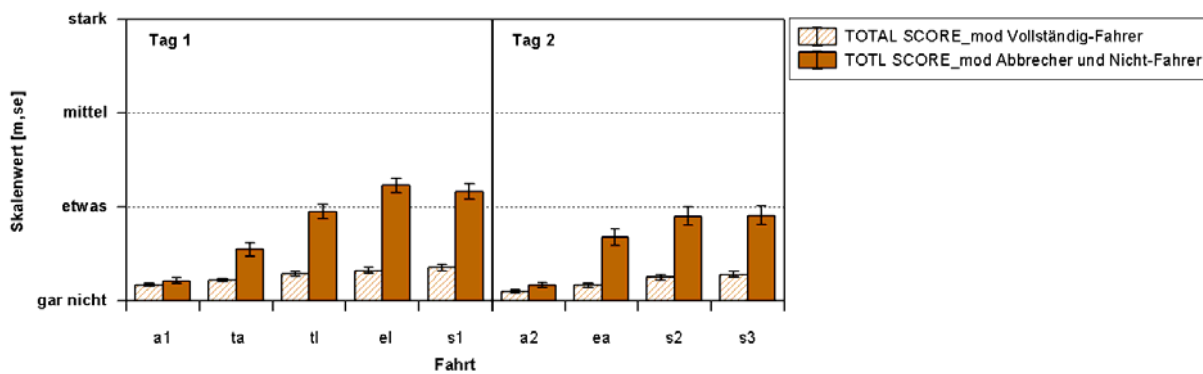


Abbildung 4.2-35: Mittelwerte und Standardabweichungen der TOTAL SCORE_{mod}-Skalenwerte im Ausgangszustand und im Verlauf der einzelnen Trainingsfahrten getrennt für die Vollständig-Fahrer und die Abbrecher und Nicht-Fahrer.

Die modifizierten Scores verdeutlichen somit ähnlich wie die Betrachtung der Symptomatik auf Einzelsymptomebene, dass die Beschwerden im untersuchten Fahrsimulator vor allem durch Übelkeit bedingt sind. Die NAUSEA_{mod}-Skalenwerte zeigen dies sowohl bei der Betrachtung der Gesamtstichprobe als auch bei der Betrachtung des Geschlechts und der Gruppeneinteilung anhand des Ausfalls. Die Profile im Verlauf des Trainings sind bei den Abbrechern und Nicht-Fahrern (N>O>D) anders als bei den Vollständig-Fahrern (N>D>O). Dies zeigt sich besonders in den beiden letzten Fahrten der zwei Trainingstage. Somit lässt sich anhand dieser Skalenwerte eine Differenzierung der Gruppen vornehmen. Hohe NAUSEA_{mod}-Skalenwerte und zusätzlich hohe DISORIENTATION_{mod}-Skalenwerte kennzeichnen das Symptomprofil der Abbrecher und Nicht-Fahrer. Für die Vollständig-Fahrer sind ebenfalls die NAUSEA_{mod}-Skalenwerte am stärksten ausgeprägt, aber in Kombination mit höheren OCULOMOTOR_{mod}-Skalenwerten. Die DISORIENTATION_{mod}-Skalenwerten sind bei dieser Gruppe am geringsten ausgeprägt.

5 Untersuchungsreihe III: Einfluss des Bewegungssystems

Erhebungen zum Vergleich des Fahrens bei aktiviertem und nicht aktiviertem Bewegungssystem wurden in den KW 7-18/2004 durchgeführt. In diesem Zeitraum wurde jeweils an zwei Tagen der Woche mit Bewegungssystem bzw. ohne Bewegungssystem gefahren. Die Auswertungen beziehen sich auf einen Stichprobenumfang von insgesamt N=233 Fahrern. Von diesen absolvierten N=120 Fahrer das Training bei aktiviertem und N=113 Fahrer bei deaktiviertem Bewegungssystem.

Anders als in den bisher dargestellten Kapiteln wurde nicht die vierstufige Skala des SSQ verwendet, sondern eine sechsstufige Skala. Diese enthält die Kategorienbezeichnungen „gar nicht – sehr wenig – wenig – mittel – stark – sehr stark“. Erhöht wurde die Kategorienzahl, um den Verlauf der Symptomentwicklung über das Training hinweg differenzierter abbilden zu können.¹⁸

5.1 Ausfallraten

Betrachtet werden auch hier zunächst die Ausfallraten für die einzelnen Simulatorübungen im Verlauf der beiden Trainingstage. Abbildung 5.1-1 zeigt die prozentualen Häufigkeiten. Zu sehen ist, dass sich nur geringfügige und unsystematische Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsbedingungen „aktives vs. deaktiviertes Bewegungssystem“ zeigen. Das in Abschnitt 3.2.3.1 dargestellte und an einer sehr viel kleineren Stichprobe gewonnene Ergebnis, nach dem das Fahren ohne Bewegungssystem die Ausfallraten reduziert, lässt sich damit nicht bestätigen. Die Ausfallraten liegen unter beiden Bedingungen bei ca. 20% am ersten Trainingstag. Am Folgetag sind etwas geringere Häufigkeiten zu beobachten.

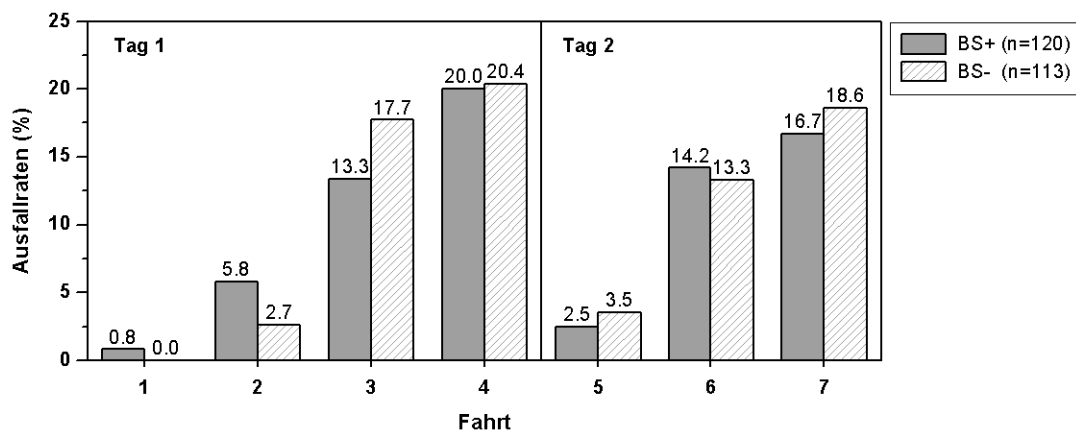


Abbildung 5.1-1: Ausfallraten der Fahrten mit und ohne Bewegungssystem.

Ein interessantes Resultat ergibt sich, wenn man die Ausfallraten getrennt nach Geschlecht des Fahrers betrachtet. In der Gruppe „Bewegungssystem deaktiviert“ befanden sich N=29 Frauen und N=84 Männer. Die Vergleichsgruppe „Bewegungssystem aktiv“ setzte sich aus N=28 Frauen und N=92 Männern zusammen. Die Häufigkeiten der kinetosebedingten Ausfälle sind der Abbildung 5.1-2 zu

¹⁸ Die beiden Skalen unterschiedlicher Kategorienzahl lassen sich prinzipiell ineinander transformieren, wovon an dieser Stelle jedoch abgesehen wird.

entnehmen. Zuallererst ist zu sehen, dass die Ausfallraten in der Gruppe der Frauen unter beiden Bewegungssystem-Bedingungen höher sind als in der Gruppe der Männer. Dies untermauert die in vorausgehenden Abschnitten dargestellten geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Weiterhin deutet sich an, dass die Kinetose-empfindlicheren Frauen bei Aktivierung des Bewegungssystems geringere Ausfallraten zeigen. Dies wird deutlich bei den jeweils letzten Fahrten eines Trainingstags. Statistisch lässt sich diese Tendenz allerdings nicht absichern. Hierfür wären weitaus größere Stichprobenumfänge notwendig.

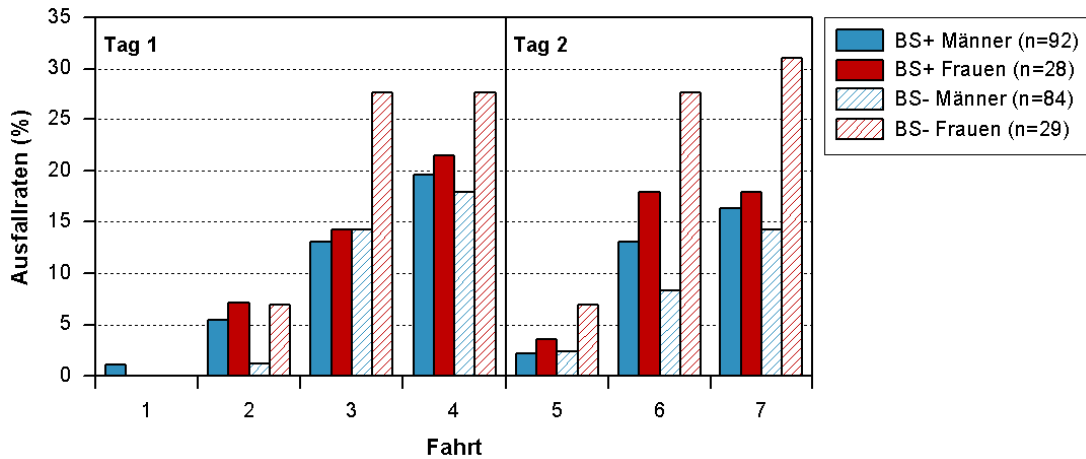


Abbildung 5.1-2: Ausfallraten der Fahrten mit bzw. ohne Bewegungssystem. Vergleich von Männern und Frauen.

5.2 Sickness-Scores

Die fehlende Signifikanz der Unterschiede in den Ausfallraten bedeutet noch nicht, dass die Bewegungssystembedingungen keinen Einfluss auf die Ausprägung der Simulatorkrankheit haben. Um dieser Frage weiter nachzugehen, wurden die modifizierten Scores des Sickness-Fragebogens herangezogen (siehe Abschnitt 4.2.5.2, hier für die sechsstufige Skala).

Beispielhaft dargestellt werden die Ergebnisse anhand der Scores, die über die letzte Fahrt am ersten Trainingstag berechnet wurden. Abbildung 5.2-1 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler der modifizierten Scores für die drei Subskalen (NAUSEA, OCULOMOTOR, DISORIENTATION) und den Gesamtscore. Der Vergleich der Bewegungsbedingungen erfolgt getrennt für Männer und Frauen.

Bei aktiviertem Bewegungssystem lassen sich keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachweisen. Allerdings profitieren die Frauen massiv von der zusätzlichen Bewegungsinformation: wird die Bewegung nur visuell dargeboten, sind sowohl die Werte der Subskalen als auch des Total Scores bei den Frauen deutlich erhöht. Diese Unterschiede lassen sich wie der Tabelle 5.2-1 zu entnehmen ist, auch statistisch absichern. Auf der Skala DISORIENTATION findet sich darüber hinaus eine signifikante Hauptwirkung des Faktors „Bewegung“, d.h. das Aktivieren des Bewegungssystems führt in beiden Gruppen zu einer Verringerung der Beschwerden. Der Unterschied zwischen Männern und Frauen zeigt sich hier nur tendenziell und zwar wiederum dahingehend, dass Frauen wie bei den übrigen Skalen stärker profitieren.

Tabelle 5.2-1: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalysen (Geschlecht x Bewegungsbedingung) für die modifizierten Subskalen und den Gesamtscore.

	Q.d.V.	QS	Df	MQ	F	p
TOTAL SCORE	Geschlecht	6.403	1	6.403	6.18	0.014
	Bewegungssystem	7.590	1	7.590	7.32	0.007
	Geschlecht x BS	5.743	1	5.743	5.54	0.019
NAUSEA	Geschlecht	12.538	1	12.538	8.74	0.003
	Bewegungssystem	4.496	1	4.496	3.13	0.078
	Geschlecht x BS	7.277	1	7.277	5.07	0.025
OCULOMOTOR	Geschlecht	7.995	1	7.995	8.12	0.005
	Bewegungssystem	4.680	1	4.680	4.76	0.030
	Geschlecht x BS	4.168	1	4.168	4.24	0.041
DISORIENTATION	Geschlecht	5.402	1	5.402	3.46	0.064
	Bewegungssystem	8.197	1	8.197	5.25	0.023
	Geschlecht x BS	3.383	1	3.383	2.17	0.142

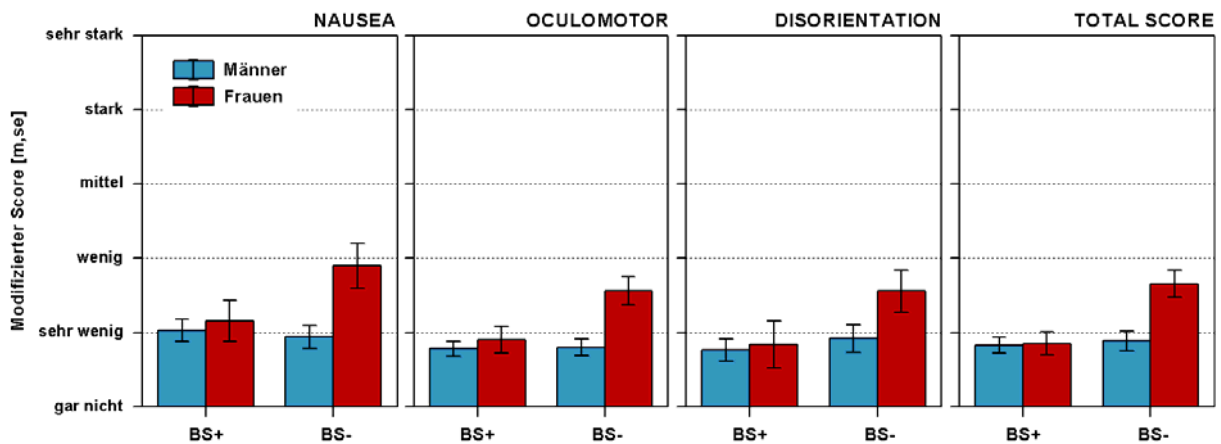


Abbildung 5.2-1: Modifizierte Sickness-Scores (6-stufige-Kategorienskala) für die Bedingungen aktiviertes vs. nicht aktiviertes Bewegungssystem. Vergleich von Männern und Frauen.

6 Zusammenfassende Bewertung und Diskussion

Kinetosebeschwerden als negative Begleiterscheinungen der Exposition in virtuellen Umwelten sind seit langem bekannt und vor allem für den Bereich der Pilotenausbildung, in dem Flugsimulatoren seit Jahrzehnten in der Ausbildung eingesetzt werden, gut dokumentiert. Für die Fahrsimulation, die immer häufiger als Trainingsmittel Anwendung findet, liegen dagegen bislang nur sehr wenige Studien vor. Die Erfahrungen im Projekt „Simulation von Einsatzfahrten“ haben gezeigt, dass die Trainingseffizienz erheblich durch Kinetosebeschwerden beeinträchtigt wird und dass Ausfälle und Fahrabbrüche aufgrund der Simulatorkrankheit ein massives Problem darstellen.

6.1 Analyse der Kinetose-Beschwerden in der Fahrsimulation

Ausfallraten

In der Anfangsphase des Projekts wurden extrem hohe Ausfallraten beobachtet, die mit zunehmender Expositionsdauer anstiegen: Einzelne Trainingseinheiten wurden aufgrund massiver Beschwerden von bis zu 50% der Teilnehmer nicht bzw. nicht vollständig absolviert. Um diesem Problem zu begegnen, wurde von Seiten des Simulatorherstellers, aber auch auf Seiten der Trainingsgestaltung eine Vielzahl von Maßnahmen ergriffen, die zu einer Senkung der Ausfallraten um ca. 30% geführt haben. Als zentraler Einflussfaktor haben sich dabei die Eigenschaften des Bewegungssystems herausgestellt. Bei dem derzeit erreichten Stand ergibt sich, wie die mehrmonatigen Datenerhebungen zeigen, eine stabile Ausfallrate von ca. 20%.

Symptomatik und Inzidenz

Mit der Dokumentation von Ausfallraten werden lediglich extreme Fälle beschrieben, in denen die Symptome bereits so stark ausgeprägt sind, dass eine Fahrt vorzeitig beendet oder gar nicht erst angetreten wird. Um nähere Aussagen zu Inzidenz und Symptomatik der Beschwerden zu treffen und mögliche Ansatzpunkte für weitere Gegenmaßnahmen zu gewinnen, wurden umfangreiche Untersuchungen an insgesamt ca. 450 Trainingsteilnehmern durchgeführt. In den Studien wurde ein etabliertes Verfahren – der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ, Kennedy, Lane et al., 1993) eingesetzt, anhand dessen kinetosebedingte Beschwerden subjektiv erfasst werden. Der SSQ wurde auf der Basis fliegerischer Stichproben (Flugsimulation) entwickelt, wird aber zunehmend häufiger auch zur Bewertung von Fahrsimulatoren und anderen virtuellen Umwelten eingesetzt. Ergänzt wurde das Instrumentarium durch Befragungen zu länger anhaltenden Nachwirkungen sowie zur Kinetose-Disposition. Von Kennedy, Lane et al. aber auch anderen Autoren werden drei typische Symptomgruppen der Simulatorkrankheit unterschieden: hierbei handelt es sich zum einen um Übelkeit, zum zweiten um okulomotorische Beschwerden (z.B. angestrengte Augen oder Kopfschmerzen) und zum dritten um Störungen des Gleichgewichts bzw. Schwindel.

Die Analyse der Symptomatik in der Einsatzsimulation zeigt durchgängig auf, dass es sich bei den Beschwerden in erster Linie um Übelkeitssymptome handelt. Diese treten bei ca. 50% der Trainingsteilnehmer nach Simulatorexposition auf, wobei 30% der Fahrer mittlere bis starke Ausprägungen angeben. Das Ausmaß der Beschwerden nimmt vergleichbar den Ausfallraten mit steigender Expositionsdauer deutlich zu. Übelkeitsbezogene Symptome differenzieren – und dies unterstreicht die Domi-

nanz dieser Beschwerden – am stärksten zwischen Trainingsabbrechern und Vollständig-Fahrern. Beschwerden, die zu den beiden anderen Symptomgruppen gehören, treten deutlich seltener und in geringerer Ausprägung auf.

Nachwirkungen und Adaptation

Neben den akuten Kinetosebeschwerden wurden Angaben zu länger andauernden Nachwirkungen erfasst. Die Analyse der Daten weist auf, dass sich die Beschwerden auch nach dem Training weiter fortsetzen. Mehr als 60% der Teilnehmer geben an, unter mindestens einem Symptom anhaltend zu leiden. Zu den am häufigsten auftretenden Beschwerden gehören „Allgemeines Unwohlsein“ (45%), „Übelkeit“ (40%) und „Magen macht sich bemerkbar“ (35%), die mit durchschnittlich ca. drei Stunden jeweils auch am längsten andauern. Damit sind die übelkeitsbezogenen Symptome nicht nur während, sondern auch nach dem Training das Hauptproblem. Aufgezeigt werden kann ein positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung der akuten Beschwerden und der Dauer der Nachwirkungen.

In der Literatur finden sich Hinweise auf Adaptationseffekte, d.h. eine Reduktion der Beschwerden bei mehrfacher Simulatorexposition an unterschiedlichen Tagen. Auch hier konnte gezeigt werden, dass die Symptome bei den Betroffenen am zweiten Trainingstag geringer ausfallen. Dieser Befund ist aufgrund nicht direkter Vergleichbarkeit des Trainingsprogramms an beiden Tagen vorsichtig zu interpretieren und bedarf weiterer Überprüfung. Den Befunden von Watson (1998) zufolge kann jedoch angenommen werden, dass eine Verteilung der Trainingseinheiten auf mehrere Tage – als Optimum werden 2-3 Tage zwischen den Expositionen angegeben – zu einer Erhöhung der Trainingseffizienz beiträgt.

Einflussfaktoren: Disposition und Geschlecht

Zur Erfassung der Verträglichkeit von Bewegungsexpositionen wurden geeignete Items des Motion History Questionnaire (MHQ) herangezogen und durch weitere ergänzt. Die Analysen zeigen auf, dass zwischen dem Ausmaß der Kinetosebeschwerden und der Disposition schwache bis mittlere positive Zusammenhänge ($r \sim 0.5$) bestehen. Trainingsteilnehmer mit einem hohen Dispositionsscore berichten demnach auch eher stärkere Kinetosebeschwerden. Es lässt sich weiterhin aufzeigen, dass Fahrer, die das Training aufgrund der Beschwerden abbrechen, bereits im Voraus eine signifikant höhere Unverträglichkeit angeben. Die Korrelationen liegen bei SSQ-Skalenwerten und Einzelsymptomen in vergleichbarer Höhe. Auf beiden Betrachtungsebenen werden die höchsten Korrelationen mit dem Dispositions-Summenscore erreicht. Die Zusammenhänge bewegen sich in ähnlicher Höhe wie die von Watson (2000) berichteten Korrelationen zwischen MHQ und SSQ-Scores.

Aufgrund der in der Literatur vorliegenden Hinweise wurde in der Untersuchung auch der Einflussfaktor Geschlecht einer näheren Analyse unterzogen. Dabei zeigt sich, dass Frauen neben einer bereits stärkeren Disposition eine höhere Anfälligkeit für Kinetosebeschwerden aufweisen. Unterschiede in der Symptomstruktur liegen nicht vor, d.h. beide Gruppen zeigen sehr vergleichbare Leitsymptome, die aber bei den Frauen stärker ausgeprägt sind. Die Ursachen dieses Geschlechtsunterschieds sind bislang nicht geklärt, allerdings sprechen unsere Ergebnisse gegen die z.B. von Biocca (1992) geäußerte Vermutung, dass Frauen die Beschwerden lediglich eher zugeben: In der Untersuchung zum Einfluss des Bewegungssystems, lassen sich bei deaktivierter Plattform keine Differenzen zwischen Männern und Frauen nachweisen, während bei aktiviertem System die bewegungsempfindlicheren Frauen deutlich von den zusätzlichen Bewegungssignalen profitieren und geringere Kinetosebeschwerden angeben.

6.2 Symptomstruktur und Übertragbarkeit der Kennedy-Scores

In der Literatur werden Inzidenzen einzelner Symptome selten berichtet. Angegeben werden dagegen üblicherweise die von Kennedy, Lane et al. (1993) beschriebenen Scores für die Subskalen NAUSEA, DISORIENTATION und OCULOMOTOR. Verwendet man diese gewichteten Scores für die Beschreibung der Kinetoseprobleme des Einsatzfahrt-Simulators, resultiert ein Profilmuster, in dem die Werte der DISORIENTATION-Skala dominant sind. Damit wird nahe gelegt, dass Beschwerden wie Schwindel und Gleichgewichtsstörungen die Leitsymptome darstellen. Wie die Analyse der Einzelsymptome des SSQ aber gezeigt hat, sind die typischen Beschwerden durch ein anderes Muster – nämlich NAUSEA – charakterisiert. Diese offensichtliche Diskrepanz lässt sich wie folgt erläutern:

- Der SSQ – d.h. der Fragebogen einschließlich der Scores, die zur Simulatorbewertung herangezogen werden – wurde anhand fliegerischer Stichproben entwickelt. In der Flugsimulation findet sich ein typisches Muster von Beschwerden, das vor allem durch Symptome im OCULOMOTOR-Bereich gekennzeichnet ist. Am seltensten werden Symptome des DISORIENTATION-Komplexes beobachtet. Die Scoreberechnung sieht vor, die Rohwertsummen so zu gewichten, dass alle Skalen eine einheitliche Streuung von 15 Punkten aufweisen. Auf der Basis der Daten der Eichstichprobe resultieren damit folgende Gewichtungsfaktoren: DISORIENTATION (13.92) > NAUSEA (9.54) > OCULOMOTOR (7.58), d.h. die am seltensten und geringsten ausgeprägten Symptome werden stark gewichtet.
- Neben der Gewichtung ist ein weiterer Punkt zu nennen, der die Zuordnung der Symptome zu den Subskalen aufgrund der wenig eindeutigen Faktorenlösungen betrifft. Bei Kennedy werden fünf der SSQ-Symptome zur Berechnung mehrerer Skalen herangezogen: so wird z.B. das Symptom „Allgemeines Unwohlsein“ sowohl zur Subskala NAUSEA als auch zur OCULOMOTOR-Skala zugeordnet. Die Ausprägungen des Symptoms „Übelkeit“ erhöhen zum einen den NAUSEA- und weiterhin den DISORIENTATION-Score.

Überträgt man Scoreberechnung auf die Fahrsimulation, tragen die in dieser Anwendung am stärksten ausgeprägten Übelkeits-Symptome zu allen drei Faktoren bei und wirken sich somit jeweils doppelt auf die einzelnen Rohwertsummen aus. Die Rohwertsummen werden dann weiterhin durch die Flugsimulator-spezifischen Skalengewichte modifiziert. Dieses Vorgehen führt dazu, dass die im RDE-Fahrsimulator ermittelten Skalenscores weit oberhalb der für unterschiedliche Flugsimulatoren berichteten Werte liegen und ein Symptomprofil resultiert, das durch die Dominanz des Faktors DISORIENTATION gekennzeichnet ist. Ein ähnliches Profil findet sich auch bei anderen Fahrsimulatoren, wie die von Drexler et al. (2004) berichteten Ergebnisse zeigen.

Eine Übertragung der Kennedy-Skalenwerte auf die Fahrsimulation setzt voraus, dass vergleichbare Symptommuster und Varianzen wie in der fliegerischen Eichstichprobe vorliegen. Dies ist, wie aufgezeigt wurde, nicht der Fall. In der Fahrsimulation finden sich deutlich höhere Varianzen, die vor allem dadurch zustande kommen können, dass die Trainingsaufgabe durch eine dynamischere visuelle und vestibuläre Bewegungsstimulation gekennzeichnet und dass es sich in der Fahrsimulation nicht um selektierte und hoch trainierte Teilnehmer handelt.

Die in der Fahrsimulation resultierende Symptomstruktur wurde analog zum Vorgehen von Kennedy et al. (1993) mittels Faktorenanalysen ermittelt. Dabei zeigt sich vergleichbar zu den Flugsimulatordaten in der hierarchischen Analyse ein starker unspezifischer Generalfaktor, der den Großteil der Varianz erklärt und weiterhin eine dreigliedrige Struktur, die sich durch die ursprünglichen Faktoren NAUSEA, OCULOMOTOR und DISORIENTATION gut beschreiben lassen. Im Gegensatz zu den Analysen von Kennedy, Lane et al. ergibt sich jedoch eine eindeutigeren Faktorenlösung mit hohen Ladungen der Einzelsymptome auf spezifischen Skalen und ohne Mehrfachzuordnung von Symptomen. Die drei Faktoren enthalten jeweils unterschiedliche Symptomanzahlen. Die Zuordnung der Symptome ist der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 6.2-1: Symptomprofile der hierarchischen Faktorenanalysen.

Faktor 1 – Übelkeit	Faktor 2 – Okulomotorik	Faktor 3 – Desorientierung
Übelkeit	angestrengte Augen	Schwindel (Augen offen)
Magen macht sich bemerkbar	verschwommenes Sehen	Schwindel (Augen geschlossen)
Allgemeines Unwohlsein	Schwierigkeiten scharf zu sehen	Gleichgewichtsstörungen
Schwitzen	Kopfdruck	
Aufstoßen	Kopfschmerzen	
vermehrter Speichelfluss	Konzentrationschwierigkeiten	
	Ermüdung	

Für die Fahrsimulation liegen bislang keine repräsentativen Untersuchungen vor, die verallgemeinernde Aussagen über die Kinetoseproblematik und deren Einflussfaktoren in unterschiedlichen Simulationsumgebungen zulassen. Dennoch erscheint eine einfache Übertragung der flugsimulations-spezifischen Bewertungen nicht angemessen. Alternativ zur Score-Berechnung nach Kennedy wird hier vorgeschlagen, zukünftig nicht gewichtete Skalenscores zu verwenden, sondern aufgrund der unterschiedlichen Symptomzahlen Mittelwertsscores zur Beschreibung der Kinetose-Beschwerden in der Fahrsimulation anzugeben. Ein globaler Gesamtscore – vergleichbar dem TOTAL SCORE – lässt sich dann angeben als Mittelwert der Subskalenscores.¹⁹

¹⁹ Ein weiterer Kritikpunkt, der in zukünftigen Arbeiten aufgegriffen werden sollte, ist die Verwendung von Differenzwerten zum Ausgangszustand, da sich einige Symptome (z.B. Ermüdung oder Konzentrationschwierigkeiten) als unspezifisch erweisen. Eine geringe Ausprägung dieser Beschwerden führt dann bereits im Ausgangszustand zu Gesamtwerten, die von Kennedy et al. als kritisch eingestuft werden. Künftige Analysen sollten auch der Frage nachgehen, inwieweit das Befinden vor Simulatorexposition die resultierenden Kinetosebeschwerden modifiziert.

7 Literatur

- Allgood, G. O. (1993). *Development of a neural net paradigm that predicts simulator sickness* (No. ORNL/TM-12254). Oak Ridge, Tennessee: Oak Ridge National Laboratory (ORNL).
- Andersen, G. J. & Braunstein, M. L. (1985). Induced self-motion in central vision. *Journal of Experimental Psychology*, 11(2), 122-132.
- Baltzley, D. R., Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G. & Gower, D. W. (1989). The time course of postflight simulator sickness symptoms. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 60(11), 1043-1048.
- Biocca, F. (1992). Will simulator sickness slow down the diffusion of virtual environment technology? *Presence*, 1(3), 334-343.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. F. (2003). *Biologische Psychologie* (5 ed.). Berlin: Springer.
- Birren, J. E. (1949). Motion sickness: its psychophysiological aspects. In Panel on Psychology and Physiology (Ed.), *A survey report on human factors in undersea warfare* (pp. 375-397). Washington, D.C.: National Research Council, Committee on Undersea Warfare.
- Birren, J. E. & Fisher, M. B. (1947). Susceptibility to seasickness: A questionnaire approach. *Journal of Applied Psychology*, 31, 288.
- Bles, W., Bos, J. E., de Graf, B., Groen, E. & Wertheim, A. H. (1998). Motion sickness: Only one provocative conflict? *Brain Research Bulletin*, 47(5), 481-487.
- Casali, J. G. (1986). Vehicular simulation-induced sickness: I. An overview. *US Naval Training Systems Center Technical Reports, Tech Rpt 86-010*.
- Casali, J. G. & Wierwille, W. W. (1986). Vehicular simulator-induced sickness: III. Survey of etiological factors and research facility requirements. *US Naval Training Systems Center Technical Reports, Tech Rpt 86-012*.
- Cheung, B. S. K., Howard, I. P. & Money, K. E. (1991). Visually-induced sickness in normal and bilaterally labyrinthine-defective subjects. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 62, 527-531.
- Crampton, G. H. (1990). *Motion and space sickness*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Curry, R., Artz, B., Cathey, L., Grant, P. & Greenberg, J. (2002, September 2002). *Kennedy SSQ results: Fixed- vs. motion-base Ford simulators*. Paper presented at the Driving Simulation Conference, Paris, France.
- Dichgans, J. & Brandt, T. (1973). Optokinetic motion sickness and pseudo-coriolis effects induced by moving stimuli. *Acta Otolaryngologica*, 76, 339-348.
- Draper, M. H. (1996). *Can your eyes make you sick?: Investigating the relationship between the vestibulo-ocular reflex and virtual reality* (No. Tech Rep R-96-3). Seattle: University of Washington, Human Interface Technology Lab.
- Drexler, J. M., Kennedy, R. S. & Compton, D. E. (2004, September). *Comparison of sickness profiles from simulator and virtual environment devices: Implications of engineering features*. Paper presented at the Driving Simulation Conference (DSC), Paris, France.
- Farrell, J. E., Casson, E. J., Haynie, C. R. & Benson, B. L. (1988). Designing flicker-free video display terminals. *Displays*, 9(7), 115-122.

- Fowlkes, J. E., Kennedy, R. S. & Lilienthal, M. G. (1987). *Postural disequilibrium following training flights*. Paper presented at the Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Human Factors Society.
- Frank, L. H. & Casali, J. G. (1986). *Simulator sickness: A review of its costs, countermeasures and prediction* (No. Technical paper 861782). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
- Frank, L. H., Casali, J. G. & Wierwille, W. W. (1988). Effects of visual display and motion system delays on operator performance and uneasiness in a driving simulator. *Human Factors*, 30(2), 201-217.
- Fregly, A. R. & Graybiel, A. (1968). An ataxia test battery not requiring rails. *Aerospace Medicine*, 39(3), 277-282.
- Grandjean, E. (1988). *Fitting the task to the man*. London: Taylor & Francis.
- Harm, D. (2002). Motion sickness neurophysiology, physiological correlates, and treatment. In K. M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments: Design, implementation and applications* (pp. 637-661). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Harwood, K. & Fowley, P. (1987). Temporal resolution: An insight into the video display terminal (VDT) "Problem". *Human Factors*, 29(4), 447-452.
- Havron, M. D. & Butler, L. F. (1957). *Evaluation of Training Effectiveness of the 2FH2 Helicopter Flighttrainer Research Tool* (No. NAVTRADEBEBECEN 1915-00-1). Port Washington, NY: Naval Training Device Center.
- Highstein, S. M., Fay, R. R. & Popper, A. N. (Eds.). (2004). *The vestibular system*. New York: Springer.
- Hildebrandt, H. (Ed.). (1997). *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch* (258. Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Hoffman, R. B., Molino, J. A. & Inman, V. W. (2003, October). *Driving simulator sickness management at Turner-Fairbank Highway Research Center*. Paper presented at the Driving Simulation Conference DSC, Dearborn, Michigan.
- Hutchins, C. W. & Kennedy, R. S. (1965). Relationship between past history of motion sickness and attrition from flight training. *Aerospace Medicine*, 36(10), 984-987.
- Irwin, J. A. (1881). The pathology of sea sickness. *Lancet*, 2, 907-909.
- Jones, S. A., Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G. & Berbaum, K. S. (1993). *Comparison of simulator sickness incidence in two Navy flight trainers: A field of investigation*. Orlando, Florida: Essex Corporation.
- Kellogg, R. S., Kennedy, R. S. & Graybiel, A. (1965). Motion sickness symptomatology of labyrinthine defective and normal subjects during zero gravity maneuvers. *Aerospace Medicine*(4), 315-318.
- Kemeny, A. & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in Cognitive Science*, 7(1), 31-37.
- Kennedy, R. S., Allgood, G. O., Van Hoy, B. W. & Lilienthal, M. G. (1987). Motion sickness symptoms and postural changes following flights in motion-based flight trainers. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 6(4), 147-154.
- Kennedy, R. S., Berbaum, K. S., Lilienthal, M. G., Dunlap, W. P., Mulligan, B. F. & Funaro, J. F. (1987). *Guidelines for alleviation of simulator sickness symptomatology* (No. AD-A182 554 NAVTRASYS SCEN TR-87007). Orlando, Florida: Naval Training Systems Center.

- Kennedy, R. S., Berbaum, K. S. & Smith, M. G. (1993). *Methods for correlating visual scene elements with simulator sickness incidence*. Paper presented at the Proceedings of the 37th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Kennedy, R. S., Dunlap, W. P. & Fowlkes, J. E. (1990). Prediction of motion sickness susceptibility. In G. H. Crampton (Ed.), *Motion and space sickness* (pp. 179-215). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Kennedy, R. S. & Fowlkes, J. E. (1992). Simulator sickness is polygenic und polysymptomatic: implications for research. *The International Journal of Aviation Psychology*, 2(1), 23-28.
- 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.
- Kennedy, R. S., Fowlkes, J. E. & Hettinger, L. J. (1989). *Review of simulator sickness literature* (No. NTSC TR 89-024). Orlando, Florida.
- Kennedy, R. S. & Graybiel, A. (1965). *The Dial Test: A Standardized Procedure for the Experimental Production of Canal Sickness Symptomatology in a Rotating Environment*. (No. Rep. No. 113 NSAM-930). Pensacola, FL: Naval School of Aviation Medicine.
- Kennedy, R. S., Hettinger, L. J. & Lilienthal, M. G. (1990). Simulator sickness. In G. H. Crampton (Ed.), *Motion and Space Sickness* (pp. chapter 15, 317-341). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- 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(3), 203-220.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Grizzard, M. C., Stanney, K. M., Kingdon, K. & Lanham, S. (2001, September). *Use of a Motion History Questionnaire to predict simularor sickness*. Paper presented at the Driving Simulation Conference DSC, Sophia-Antipolis, France.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S. & Hettinger, L. J. (1992). Profile analysis of simulator sickness symptoms: Application to virtual environment systems. *Presence*, 1(3), 295-301.
- Kennedy, R. S., Lane, N. E., Stanney, K. M., Lanham, S. & Kingdon, K. (2001, August). *Use of a motion experience questionnaire to predict simulator sickness*. Paper presented at the 9th International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, Louisiana.
- Kennedy, R. S., Lilienthal, M. G., Berbaum, K. S., Baltzley, D. R. & McCauley, M. E. (1989). Simulator sickness in U.S. Navy flight simulators. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 60(1), 10-16.
- Kennedy, R. S., Massey, C. J. & Lilienthal, M. G. (1995). Incidences of fatigue and drowsiness reports from three dozen simulators: Relevance for the sopite syndrome. Abstract presented at the First Workshop on Simulation and Interaction in Virtual Environments (SIVE'95). Iowa City, IA.
- Kennedy, R. S., Stanney, K. M. & Dunlap, W. P. (2000). Duration and exposure to virtual environments: Sickness curves during and across sessions. *Presence*, 9(5), 463-472.
- Kim, D. H., Parker, D. E. & Park, M. Y. (2004). *A new procedure for measuring simulator sickness - the RSSQ* (No. Tech Rep R-2004-52). Seattle: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory.
- Kolasinski, E. M. (1995). *Simulator sickness in virtual environments* (Technical Report 1027: Army Project Number 2O262785A791 - Education and Training Technology). Alexandria, Virginia: United States Army Research Institute.

- Kolasinski, E. M., Jones, S. A., Kennedy, R. S. & Gilson, R. D. (1994, October). *Postural stability and its relation to simulator sickness. Poster session presented at the 38th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Abstract appears in Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society.
- Lawson, B. D., Graeber, D. A., Mead, A. M. & Muth, E. R. (2002). Signs and symptoms of human syndromes associated with synthetic experiences. In K. M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments* (pp. 589-618). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Levine, M. W. & Shefner, J. M. (1991). *Fundamentals of sensation and perception*. Belmont, CA: Wadsworth, Inc.
- Lin, K. K. & Reschke, M. F. (1987). The use of the Logistic Model in space motion sickness prediction. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 58(9, Suppl.), A9-15.
- Maxwell, C. A. (1992, November). Flicker science and the consumer. *Information Display*, 7-10.
- McCauley, M. E. & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: perception of self-motion in virtual environments. *Presence*, 1(3), 311-318.
- Mollenhauer, M. A. (2004). *Simulator adaptation syndrome literature review* (Realtime Technologies Technical Report).
- Money, K. E. (1970). Motion Sickness. *Physiological Reviews*, 50(1), 1-39.
- Money, K. E. (1980). *Flight simulator sickness in the Aurora CP 40 FDS* (Technical Communication No. TC-80-C-44). Downsview, Ontario, Kanada: Defence and Civil Institute of Environmental Medicine.
- Money, K. E. (1990). Motion sickness and evolution. In G. H. Crampton (Ed.), *Motion sickness* (pp. 1-7). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Parker, D. E. & Harm, D. L. (1992). Mental rotation: A key to mitigation of motion sickness in the virtual environment? *Presence*, 1(3), 329-333.
- Pausch, R., Crea, T. & Conway, M. (1992). A literature survey for virtual environments. *Presence*, 1(3), 344-363.
- Powell, T. J., Beach, A. M., Smiley, J. R. & Russell, N. C. (1962). Successful prediction of air sickness in aircrew trainees. *Aerospace Medicine*, 33, 1069-1080.
- Ratte, J. & Bock, B. (2003). *Vorbesprechung Motion Tuning* (29.04.2003). Sulzbach-Rosenberg.
- Reason, J. T. & Brand, J. J. (1975). *Motion Sickness*. London: Academic Press.
- Regan, E. C. & Price, K. R. (1993). *Some side-effects of immersion virtual reality: An investigation into the relationship between inter-pupillary distance and ocular related problems* (Army Personal research Establishment Report 93R023).
- Reymond, G., Kemeny, A., Droulez, J. & Berthoz, A. (1999, Juli). *Contribution of a motion platform to kinesthetic restitution in a driving simulator*. Paper presented at the Driving Simulation Conference DSC, Paris, France.
- Riccio, G. E. & Stoffregen, T. A. (1991). A ecological theory of motion sickness und postural instability. *Ecological Psychology*, 3(3), 195-240.
- Rinalducci, E. J. & MacArthur, M. (1990). Annotated bibliography on the effects of flicker on simulator sickness. Institute for Simulation and Training, University of Central Florida, Division of Sponsored Research, Orlando, Florida.
- Ritchie, M. L., McCoy, W. K. & Welde, W. L. (1968). A study of relation between forward velocity and lateral acceleration in curves during normal driving. *Human Factors*, 10, 255-258.

-
- Sharkey, T. J. & McCauley, M. E. (1992). *Does a motion base prevent simulator sickness?* Paper presented at the Proceedings of the AIAA/AHS Flight Simulation Technologies Conference, Washington, D.C.
- Siegler, I., Reymond, G., Kemeny, A. & Berthoz, A. (2001, September). *Sensorimotor integration in a driving simulator: contributions of motion cueing in elementary driving tasks*. Paper presented at the Driving Simulation Conference DSC, Sophia-Antipolis, France.
- Smith, D. E. (1982). A statistical examination of three approaches for predicting motion sickness incidence. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 53(2), 162-165.
- Stanney, K. M., Kingdon, K. & Kennedy, R. S. (2002). *Dropouts and aftereffects: Examining general accessibility to virtual environment technology*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 46th Annual Meeting, pp. 2114-2118.
- Stern, R. M., Hu, S., LeBlanc, R. & Koch, K. L. (1993). Chinese hyper-susceptibility tovection-induced motion sickness. *Aviation, Space and Environmental Medicine*(9), 827-830.
- Stout, C. S., Toscano, W. & Cowings, P. S. (1995). Reliability of psychophysiological responses across multiple motion sickness simulation tests. *Journal of vestibular research*, 5(1), 25-33.
- Thomley, K. E., Kennedy, R. S. & Bittner, A. C. (1986). Development of postural equilibrium tests for examining environmental effects. *Perceptual & Motor Skills*, 63, 555-564.
- Thorell, L. G. & Smith, W. J. (1990). *Using computer color effectively*. New York: Englewood Cliffs.
- Treisman, M. (1977). Motion sickness: An evolutionary hypothesis. *Science*, 197, 493-495.
- Tyler, D. B. & Bard, P. (1949). Motion sickness. *Physiological Review*, 29, 311-369.
- Uliano, K. C., Lambert, E. Y., Kennedy, R. S. & Sheppard, D. J. (1986). *The effects of asynchronous visual delays on simulator sickness symptomatology* (No. NAVTRASYSCEN 85-D-0026-1). Orlando, Florida: Naval Trainings Systems Center.
- Ungs, T. J. (1988). Simulator induced syndrome in Coast Guard aviators. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 59, 267-272.
- Ungs, T. J. (1989). Simulator Induced Syndrome: Evidence for long-term aftereffects. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 60(3), 252-255.
- Watson, G. S. (1998). *The effectiveness of a simulator screening session to facilitate simulator sickness adaptation for high-intensity driving scenarios*. Paper presented at the Proceedings of the IMAGE 1998 Conference, Scottsdale, AZ.
- Watson, G. S. (2000, September). *A synthesis of simulator sickness studies conducted in a high-fidelity driving simulator*. Paper presented at the Driving Simulation Conference, Paris, France.
- Wendt, G. R. (1944). *Motion sickness in aviation*. Washington, D.C.: Report of the National Research Council Committee on selection and training of aircraft pilots.

8 Anhang

8.1 Motion History Questionnaire²⁰

Subject Number: _____ **Date:** _____

1. Approximately how many total flight hours do you have? ____ hours
2. How often would you say you get airsick?
Always ____ Frequently ____ Sometimes ____ Rarely ____ Never _____
3. a) How many total flight simulator hours? _____ Hours
b) How often have you been in a virtual reality device? ____ Times ____ Hours
4. How much experience have you had at sea aboard ships or boats?
Much ____ Some ____ Very Little ____ None _____
5. From your experience at sea, how often would you say you get seasick?
Always ____ Frequently ____ Sometimes ____ Rarely ____ Never _____
6. Have you ever been motion sick under any conditions other than the ones listed so far?
No ____ Yes ____ If so, under what conditions? _____
7. In general, how susceptible to motion sickness are you?
Extremely ____ Very ____ Moderately ____ Minimally ____ Not at all _____
8. Have you been nauseated FOR ANY REASON during the past eight weeks?
No ____ Yes ____ If yes, explain _____
9. When you were nauseated for any reason (including flu, alcohol, etc.), did you vomit?
Only with _____ Retch and finally vomited _____
Easily ____ difficulty ____ with great difficulty _____
10. If you vomited while experiencing motion sickness, did you:
a) Feel better and remain so?
b) Feel better temporarily, then vomit again?
c) Feel no better, but not vomit again?
d) Other - specify _____
11. If you were in an experiment where 50% of the subjects get sick, what do you think your chances of getting sick would be?
Almost Certainly Probably Almost Probably Certainly
would ____ would ____ would not ____ would not _____
12. Would you volunteer for an experiment where you knew that: (Please answer all three)
a) 50% of the subjects did get motion sick? Yes ____ No _____
b) 75% of the subjects did get motion sick? Yes ____ No _____
c) 85% of the subjects did get motion sick? Yes ____ No _____
13. Most people experience slight dizziness (not a result of motion) three to five times a year. The past year you have been dizzy:
More than this ____ The same as ____ Less than ____ Never dizzy _____
14. Have you ever had an ear illness or injury which was accompanied by dizziness and/or nausea? Yes ____ No ____
15. Listed below are a number of situations in which some people have reported motion sickness symptoms. In the space provided, check (a) your PREFERENCE for each activity (that is, how much you like to engage in that activity), and (b) any SYMPTOM(s) you may have experienced at any time, past or present.

²⁰ entnommen aus Kennedy, Lane, Stanney et al. (2001)

SITUATIONS	PREFERENCE			SYMPTOMS																					
	L	T	K	D	V	N	A	I	U	S	E	O	S	A	D	R	S	W	P	V	A	H	O		
Aircraft																									
Flight simulator																									
Roller Coaster																									
Merry-Go-Round																									
Other carnival devices																									
Automobiles																									
Long train or bus trips																									
Swings																									
Hammocks																									
Gymnastic Apparatus																									
Roller / Ice Skating																									
Elevators																									
Cinema or Wide-Screen Movies																									
Motorcycles																									

8.2 Befragungsinstrumentarium

Der verwendete Fragebogen umfasst insgesamt 13 Seiten, die aus Platzgründen hier nicht vollständig abgebildet werden. Wichtig ist der Ausgangszustand pro Tag, die Symptomerfassung pro Fahrt und die erfassten Nachwirkungen nach dem ersten Trainingstag. Der Ausgangszustand der Trainingsteilnehmer wurde an beiden Tagen erfasst, wird aber hier nur einmal dargestellt, weil der Fragebogeninhalt an beiden Tagen derselbe war. Ebenso verhält es sich mit der Symptomerfassung pro Fahrt. Da nach jeder Fahrt die gleichen Symptome zu beurteilen waren, wird auch dieser Bogen nur einmal angefügt. Die Erfassung der Nachwirkungen des ersten Tages erfolgte einmalig am Morgen des zweiten Trainingstages.

BEGLEITFRAGEBOGEN ZUM SIMULATORTRAINING

Ein Simulatortraining kann bei manchen Personen anfangs zu körperlichen Beschwerden mit unterschiedlichen Symptomen führen. Diese sind nicht gesundheitsschädlich und reversibel. Das Auftreten von Symptomen ist dabei von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Eine Rolle kann z.B. der aktuelle Befindenzustand spielen.

IHR BEFINDEN VOR DEM SIMULATORTRAINING TAG 1

Bitte kreuzen Sie an, wie sehr die folgenden Symptome auf Ihren momentanen Zustand zutreffen.

	gar nicht	etwas	mittel	stark
Allgemeines Unwohlsein				
Ermüdung				
angestrengte Augen				
erhöhter Speichelfluss				
Schwierigkeiten scharf zu sehen				
Übelkeit				
Konzentrationsschwierigkeiten				
Kopfdruck				
verschwommenes Sehen				
Schwindel (Augen offen)				
Schwindel (Augen geschlossen)				
Aufstoßen				
Schwitzen				
Magen macht sich bemerkbar				
Kopfschmerzen				
Gleichgewichtsstörungen				

Wann sind Sie heute Morgen aufgestanden? ca. gegen _____ Uhr

Wie viele Stunden haben Sie letzte Nacht geschlafen? _____ Stunden

Wann haben Sie Ihre letzte Mahlzeit zu sich genommen? ca. gegen _____ Uhr

Nehmen Sie zurzeit Medikamente ein? nein ja

Wenn ja, welche? _____

BEWEGUNGSEMPFINDLICHKEIT

Personen reagieren unterschiedlich empfindlich in Situationen, in denen sie Bewegungen ausgesetzt sind. So vertragen manche z.B. Achterbahnfahrten sehr gut, während andere starke körperliche Beschwerden davon tragen.

Bitte geben Sie an, wie gut Sie die folgenden Situationen vertragen.

	sehr schlecht	schlecht	mittel	gut	sehr gut
Achterbahn fahren					
Mitfahren auf dem Rücksitz eines Pkw					
Im Zug rückwärts zur Fahrtrichtung sitzen					
Karussell fahren					
Mitfahrten im Pkw in der Kindheit					
Lange Mitfahrten im Auto oder Bus					
Lesen während der Mitfahrt im Pkw					
Schiffsreisen					

Vielen Dank!

Bitte legen Sie den Fragebogen jetzt zur Seite. Alle weiteren Fragen sind nach den Trainingsfahrten zu beantworten.

FRAGEBOGEN ZUM BEFINDEN: [FAHRTBEZEICHNUNG]

Zustand des Bewegungssystems: aktiviert deaktiviert

Wurde die Fahrt vollständig absolviert? ja nein

Falls nein, wann wurde die Fahrt abgebrochen? nach ca. _____ min (Dauer)

Bitte geben Sie an, ob und gegebenenfalls wie stark die folgenden Symptome auf Ihren Zustand zutreffen.

	gar nicht	etwas	mittel	stark
Allgemeines Unwohlsein				
Ermüdung				
angestrengte Augen				
erhöhter Speichelfluss				
Schwierigkeiten scharf zu sehen				
Übelkeit				
Konzentrationschwierigkeiten				
Kopfdruck				
verschwommenes Sehen				
Schwindel (Augen offen)				
Schwindel (Augen geschlossen)				
Aufstoßen				
Schwitzen				
Magen macht sich bemerkbar				
Kopfschmerzen				
Gleichgewichtsstörungen				

Weitere Anmerkungen und Besonderheiten: _____

SIMULATORTRAINING: NACHWIRKUNGEN

Hatten Sie gestern nach Ihrer letzten Fahrt im Simulator länger andauernde Beschwerden?

ja nein

Falls Sie Beschwerden hatten, beantworten Sie bitte im Folgenden, welche das waren (ja/nein) und wie lange diese etwa andauerten.

Allgemeines Unwohlsein? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Ermüdung? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

angestrengte Augen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

erhöhter Speichelfluss? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Schwierigkeiten scharf zu sehen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Übelkeit? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Konzentrationsschwierigkeiten? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Kopfdruck? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

verschwommenes Sehen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Schwindel (Augen offen)? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Schwindel (Augen geschlossen)? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Aufstoßen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Schwitzen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Kopfschmerzen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Magen macht sich bemerkbar? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------

Gleichgewichtsstörungen? ja nein

bis 1 Stunde	bis 2 Stunden	bis 3 Stunden	bis 4 Stunden	bis 5 Stunden	bis 6 Stunden	> 6 Stunden
--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	-------------