

Technische Universität München

TUM School of Engineering and Design

**Entwicklung und Evaluation einer Lenkung für die
Motorradfahrersimulation**

Arthur Werle, M.Sc.

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der
Technischen Universität München zur Erlangung eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Klaus Bogenberger
Prüfende der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp
2. Prof. Dr. rer. nat. Stefanie Marker

Die Dissertation wurde am 08. September 2023 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am 18. Januar 2024 angenommen.

Diese Arbeit widme ich meiner Mutter.

★28.09.1950 **Ida Werle** †11.11.2000

Danksagung

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um all den Menschen zu danken, die mich während meiner Dissertation unterstützt haben. Ohne ihre Unterstützung und Ermutigung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Zunächst möchte ich Professor Dr. Markus Lienkamp meinen tiefsten Dank aussprechen. Seine fachliche Expertise, seine inspirierenden Ideen und sein wertvolles Feedback haben maßgeblich zum Erfolg dieser Dissertation beigetragen. Ich bin dankbar für seine anhaltende Unterstützung und die Gelegenheit, von ihm zu lernen.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Frank Diermeyer, der mich während meiner Forschung begleitet und viele wertvolle Diskussionen mit mir geführt hat. Seine kritischen Perspektiven und sein umfangreiches Wissen haben mir geholfen, meine Arbeit weiterzuentwickeln und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Ich schätze seine Zeit und sein Engagement, die er mir entgegengebracht hat.

Des Weiteren möchte ich BMW Motorrad als den Finanzierer dieses Projektes hervorheben. Die finanzielle Unterstützung hat diese Arbeit ermöglicht. Besonders möchte ich Wolfgang Wallner und Nico Engmann erwähnen, die maßgeblich an diesem Projekt beteiligt waren. Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern von BMW Motorrad aus den EX-E Fachbereichen, die mich mit ihrem Fachwissen, ihrer Unterstützung und ihrem Engagement unterstützt haben.

Ein weiterer Dank gilt den Studierenden, die mich bei der Zielerreichung unterstützten. Fabian Holzner, Tobias Hoppermann und Dorothea Wildner haben in verschiedenen Phasen meiner Forschung wertvolle Beiträge geleistet. Ihre Mitarbeit und intrinsische Motivation haben dazu beigetragen, dass dieses Projekt erfolgreich umgesetzt werden konnte.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Frau meinen tiefsten Dank aussprechen. Ihre bedingungslose Unterstützung, ihre Geduld und ihr Verständnis waren unermesslich wertvoll. Trotz meiner intensiven Arbeit an der Dissertation hatte sie immer Verständnis für meine Diss-Schreib-Weekenden und hat mich bei der Vereinbarkeit von Arbeit, Dissertation und Familie unterstützt - Marleen: „Papa muss schreiben“.

München, im Juni 2023

Arthur Werle

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Formelzeichen	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	3
1.2 Neuwert der Arbeit	4
2 Stand der Forschung und Technik	5
2.1 Grundlagen zur Mess- und Systemtechnik	5
2.2 Grundlagen der Fahrzeugführung	6
2.2.1 Belastung, Beanspruchung und Leistung.....	7
2.2.2 Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten.....	10
2.2.3 Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe.....	12
2.2.4 Zwei-Ebenen-Modell für das Fahrerlenkverhalten.....	13
2.3 Messgrößen zur Bewertung der primären Fahraufgabe	14
2.3.1 Objektive Messgrößen.....	15
2.3.2 Subjektive Messgrößen.....	16
2.3.3 Multiple Ressourcen Modell.....	16
2.4 Motorradfahrsimulation	17
2.4.1 Motorradfahr simulatoren.....	18
2.4.2 Lenkungen in der Motorradfahr simulation.....	18
2.5 Ableiten der Forschungsfragen	22
3 Vorgehen	25
4 Untersuchungen	27
4.1 Studie 1: Bestimmung der Interaktionsgröße	27
4.1.1 Zielsetzung und Fragestellung.....	28
4.1.2 Experimentelles Design.....	28
4.1.3 Ergebnisse.....	35
4.1.4 Diskussion.....	42
4.2 Studie 2: Notwendigkeit des Lenkwinkels für die Fahraufgabe	47

4.2.1 Technische Limitationen	47
4.2.2 Zielsetzung und Fragestellung	49
4.2.3 Experimentelles Design	50
4.2.4 Ergebnisse	58
4.2.5 Diskussion	65
4.3 Studie 3: Untersuchung der isometrischen Lenkung mit dynamischer Plattform	73
4.3.1 Technische Limitation	74
4.3.2 Zielsetzung und Fragestellung	74
4.3.3 Experimentelles Design	75
4.3.4 Ergebnisse	80
4.3.5 Diskussion	89
5 Zusammenfassung und Ausblick	93
5.1 Verlauf der Simulatorkrankheit	93
5.2 Zusammenfassung	96
5.3 Ausblick	97
Abbildungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	v
Literaturverzeichnis	vii
Vorveröffentlichungsliste	xvii
Betreute Studienarbeiten	xix
Anhang	xxi

Abkürzungsverzeichnis

ABK	Anzeige-Bedien-Konzepte
CLT	Cognitive Load Theory
DALI	Driving Activity Load Index
JND	Just-Noticeable-Differences
LCT	Lane-Change-Task
Lkw	Lastkraftwagen
MC	Motion Cues
MCA	Motion Cueing Algorithmen
MMI	Mensch-Maschine-Interface
PDT	Peripheral-Detection-Task
Pkw	Personenkraftwagen
RALI	Riding-Activity-Load-Index
SDLP	Standardabweichung der Lateralen Position
SSQ	Simulator-Sickness-Questionnaire

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
ε	$^\circ$	Nachlaufwinkel der Lenkachse
φ	$^\circ$	Rollwinkel
δ	$^\circ$	Lenkwinkel
τ	Nm	Lenkmoment
$\Delta Y_{(GA)}$	m	Abstand in Y-Richtung zwischen Radschwerpunkt und der Lenkachse mit dem Fahrbahnschnittpunkt
$\Delta X_{(GA)}$	m	Abstand in X-Richtung zwischen Radschwerpunkt und der Lenkachse mit dem Fahrbahnschnittpunkt
$\Delta Y_{(pA)}$	m	Abstand in Y-Richtung zwischen Radaufstandspunkt und der Lenkachse mit dem Fahrbahnschnittpunkt
$\Delta X_{(pA)}$	m	Abstand in X-Richtung zwischen Radaufstandspunkt und der Lenkachse mit dem Fahrbahnschnittpunkt
m_f	kg	Masse der Lenkachse
R_g	m	Radius oder Abstand zwischen dem Radaufstandspunkt und dem Schnittpunkt der Lenkachse
Ω	$\frac{rad}{s}$	Giargeschwindigkeit oder Gierrate
N_f	N	Normalkraft der Lenkachse
Z_A	m	Koordinaten des Reifenaufstandspunktes in Bezug auf das Bezugssystem
F_f	N	Rollwiderstand des Vorderrades

1 Einleitung

Fahrsimulatoren sind computergestützte Systeme, die entwickelt wurden, um das Fahren eines Fahrzeugs in einer virtuellen Umgebung zu simulieren [1]. Aufgrund der steigenden Rechenleistung und dem Bedürfnis nach der Untersuchung von Mensch-Maschine-Interface (MMI) begann ab ca. 1960 die Entwicklung von Fahrsimulatoren für Personenkraftwagen (Pkw) und Lastkraftwagen (Lkw), bereits 1970 gab es weltweit 20 Simulatoren [2]. Weitere Gründe für die Entwicklung von Fahrsimulatoren sind die bessere Kontrollierbarkeit von Störgrößen bei Studien in Verbindung mit einer Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, einer reduzierten bis gar keiner Gefährdung der Probanden bei gefährlichen Fahrsituationen sowie das Umgehen von hohen Kosten bei Feldstudien und dem Aufbau von Prototypen. Daher ist die Verwendung von Simulatoren als Untersuchungsumgebung in der Pkw- und Lkw-Industrie bereits lange Praxis. Anwendungsgebiete sind die Untersuchung von Anzeige- und Bedienkonzepten, die Evaluierung von Interieurkonzepten und die Auslegung der Fahrdynamik, wobei die genannte Aufzählung der evolutionären Entwicklung von Pkw-Fahrsimulatoren entspricht [3] [4, S. 2] [5].

Der Einsatzbereich bestimmt die Konfiguration eines Fahrsimulators und der damit verbundenen Stimulation der vestibulären, visuellen, akustischen und haptischen Reize des Menschen [4, S. 16]. Um ein realistisches Fahrerergebnis zu erhalten, wird eine korrekte Rückmeldung sensorischer Informationen benötigt. Dies stellt eine Herausforderung in der Fahrsimulation dar. Wenn visuelle und vestibuläre Wahrnehmung in Konflikt geraten oder widersprüchliche Reize wahrgenommen werden, kann es zum Auftreten der Simulatorkrankheit kommen [6]. Die Simulatorkrankheit oder Kinetose, auch bekannt als *Simulator Sickness* oder *Motion Sickness*, äußert sich in den Symptomen Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerzen oder einem allgemeinen Unwohlsein, das das Studienergebnis negativ beeinflussen kann [7] [8, S. 67]. Der Einsatz von modernen Simulatoren, die eine geringe Latenz, einen hohen Immersionsgrad und eine hochdynamische Bewegungsdarstellung ermöglichen, können zu einem Ausbleiben der Kinetose führen. Jedoch sind diese Art der Simulatoren kostenintensiv, erfordern einen hohen Wartungsaufwand und werden aktuell ausschließlich in der Pkw- oder Lkw-Industrie eingesetzt [9] [10, S. 4]. Eine Auflistung und Beschreibung moderner Motorradfahrsimulatoren sind in Kapitel 2.4 enthalten.

Das Fahren eines Einspurfahrzeuges im Vergleich zu einem Zweispurfahrzeug unterscheidet sich in der Sitzergonomie, der Bedienung und der visuellen und vestibulären Wahrnehmung. Diese Faktoren müssen ebenfalls in der Fahrsimulation berücksichtigt werden. Die ersten beiden Eigenschaften, ausgenommen des Bedienelementes Lenkung, lassen sich durch ein entsprechendes Mockup einfach realisieren. Auf eine Sichtsimulation, die mindestens eine 270° Rundumsicht ermöglicht, sollte nicht verzichtet werden, um ein störungsfreies Sehen bei einer Kopfbewegung und die periphere Wahrnehmung bei für Einspurfahrzeuge spezifischen großen Rollwinkeln zu gewährleisten. Auch in der vestibulären Wahrnehmung bestehen Unterschiede zu Zweispurfahrzeugen aufgrund der besonderen Fahrdynamik von Einspurfahrzeugen. Aus diesen Gründen ist eine technische Übernahme von funktionalen Anforderungen aus der Pkw-

Fahrsimulation nicht möglich, wenn im Rahmen einer Studiendurchführung das Fahrgefühl eines Einspurfahrzeuges erhalten bleiben soll.

Das Ziel von Probandenstudien im Kontext der Fahrsimulation ist es, das Verhalten von fahrenden Personen zu untersuchen, um ihre Leistung, Reaktion und Entscheidungsfindung anhand von MMI-Methoden zu erfassen (Abbildung 1.1). Neben Fragebögen kann das Lenkverhalten, das Blickverhalten oder die Bewertung von Fahrfehlern genutzt werden, um zum Beispiel Assistenzsysteme hinsichtlich der Wirksamkeit oder Effizienz zu bewerten. Bei der Eingrenzung des Anwendungsgebietes auf Kraftfahrzeuge und zur Untersuchung von Anzeigebedienkonzepten, beispielsweise für die MMI oder zur Ermittlung der Ablenkung, unterscheidet Milicic [11, S. 3] in statische und dynamische Simulatoren. Sie schreibt, dass statische Fahrsimulatoren eine hinreichende Validität zur Evaluierung von Anzeige- und Bedienkonzepten für die Methoden Lane-Change-Task (LCT), Peripheral-Detection-Task (PDT) oder die Messung der Reaktionszeit während der Fahraufgabe aufweisen können müssen. Dies erfordert ein Fahrverhalten, das aus der Realität bekannt ist und in der simulierten Umgebung angewandt werden kann [12, S. 125-126], weil sonst die Testgütekriterien Validität, Reliabilität und Objektivität verletzt sein können und eine Ungültigkeit der Untersuchung vorliegt [13] [10, S. 25-28] [14].

Betrachtet man hingegen das Segment motorisierte Einspurfahrzeuge, beschränken sich Untersuchungen in der Simulationsumgebung im Allgemeinen auf Anzeigebedienkonzepte und die Bewertung der Fahrzeugführung [15] [16]. Eine Eigenschaft, die die Entwicklung von Motorradfahrsimulatoren erschwert, ist der instabile Geschwindigkeitsbereich, näher beschrieben in Kapitel 2.4.2. Ist der Proband dauerhaft mit der Stabilisierung des Fahrzeugs beschäftigt, kann es zu einer erhöhten mentalen Beanspruchung oder der Simulatorkrankheit führen. Treten beide Einflüsse über einen längeren Zeitraum auf, muss mit einem Abbruch der Studie gerechnet oder von nicht repräsentativen Daten ausgegangen werden. Insbesondere bei Geschwindigkeiten unter $50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ wird die Stabilisierung des Fahrzeugs als ungewöhnlich beanspruchend empfunden [17, S. 107] [18]. Grotoli [17, S. 25] entwickelte daher einen Fahrsimulator für diesen Geschwindigkeitsbereich, nutzte jedoch einen Fahrer-Balance-Assistenten, einen Regler zur Stabilisierung, um die genannten negativen Einflüsse zu reduzieren.

Ein fehlender Konsens in der Motorradfahrsimulation ist die Lenkinteraktionsgröße oder Führungsgröße für die laterale Querführung. Grotoli [17, S. 28] und Guth et al. [19] verwendeten den Lenkwinkel, wohingegen Pless et al. [18, S. 9] und Cossalter et al. [20, S. 28] die Lenkkraft nutzten. Eine belastbare gegenüberstellende Untersuchung zur Ermittlung der geeigneten Interaktionsgröße im Kontext zum Fahrerlenkverhalten und den Verhaltensebenen ist bis jetzt nicht erfolgt.

Popov, Rowell und Meijaard [21] fassten den Stand der Technik bereits 2009 zusammen und legten den Fokus auf Motorradfahrdynamikmodelle und die Fahrermodellierung. Die Autoren stellten fest, dass die Modellgenauigkeit bereits damals hinreichend war, um gute Motorradfahrsimulatoren zu entwickeln, zeigten aber, dass das Verständnis der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu wenig erforscht ist. Kooijman und Schwab [22] und Schwab und Meijaard [23] untersuchten daraufhin das Handling und die Manövrierfähigkeit in der Offline-Simulation und empfahlen, die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug näher zu untersuchen.

Popov, Rowell und Meijaard [21] fassten zusammen: Die Erforschung der Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug sollte mithilfe der Entwicklung von realistischen Motorradfahrsimulatoren erfolgen.

1.1 Motivation

„Research in rider control should support and stimulate activities in the development of rider simulators, facilitate their implementation, and make possible their wide availability in the near future. Extensive validation of the available mathematical models of rider behaviour using measured human behaviour from carefully designed experiments is needed.“ [21]

Die kommerzielle Vermarktung, Nutzung für Studien und der Zugang zu öffentlichen Forschungsergebnissen von Motorradfahrersimulatoren ist vergleichsweise gering zur Pkw Fahrsimulation [24, S. 56]. Aufgrund der steigenden Anzahl an passiven und aktiven Fahrerassistenzsystemen kann mit einem steigenden Bedarf an Probandenstudien gerechnet werden [25] [26]. Dies erfordert daher den Einsatz von Forschungs- und Entwicklungsaufwänden, um die Motorradfahrersimulation zuverlässig im Kontext der Untersuchungsmethode und gültig im Ergebnis zu gewährleisten [27, S. 331]. Das dafür benötigte Verständnis setzt sich aus folgenden Disziplinen zusammen: der Informationstechnik und Systemdynamik für das Verständnis zur Bewertung zeitlich veränderlicher Prozesse, der Motorradfahrerdynamik für das Verständnis des Fahrzeugverhaltens und des Modells sowie dem Bereich Human Factors für die Interpretation von aus der Forschung gewonnenen Informationen mit Menschen hinsichtlich der Interaktion. Darauf basierend kann eine Entwicklung erfolgen, die eine realistische Bedienung zwischen dem Menschen und zu virtualisierender Komponente bietet, beispielsweise für ein realistisches Lenksystem.

Die primäre Fahraufgabe umfasst das Zustandekommen der Fahrzeugbewegung sowie die damit verbundene Regelung der Längs- und Querverführung. Dabei stellt die Lenkung ein zentrales Bedienelement in der Fahrsimulation dar. Erfahrene Motorradfahrer müssen innerhalb einer kurzen Trainingszeit das Lenken aus der Realität wiedererkennen und damit die Querverführung hinreichend beherrschen, beispielsweise für die Anwendung der Performance Index Standardabweichung der Lateralen Position (SDLP) um Rückschlüsse auf die Fahrerablenkung zu ziehen [28, S. 6]. Erst damit ist es möglich, Untersuchungen aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion während der Fahraufgabe durchzuführen. Neben der Stabilisierung des Fahrzeugs muss der Fahrer Stürze durch Eingriffe vermeiden können.

Um Störeinflüsse zu minimieren, stellt der Unterteilungsgrad der durchzuführenden Untersuchungen eine weitere Anforderung an die Simulator-Konfiguration. Damit ergeben sich für diese Arbeit die folgenden Ausprägungen: Die Anwendung für Probanden- oder Expertenstudien, den Einsatz als statischer oder dynamischer Simulator, die Interaktion Lenkwinkel oder Lenkkraft und die Unterteilung in einen langsamen und einen schnellen Geschwindigkeitsbereich. In Kapitel 2 werden die Abgrenzungen für diese Entwicklung begründet.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Lenksystems für einen neuartigen Motorradfahrersimulator. Der Einsatzzweck beschränkt sich auf die Anwendung bei Probandenstudien, um Untersuchungen zu Anzeige-Bedien-Konzepte (ABK) durchzuführen. Dazu werden zwei Interaktionskonzepte vorgeschlagen, untersucht und empfohlen. Anschließend wird die Verwendung einer isometrischen Lenkung im direkten Vergleich zu einer positionsrückmeldenden Lenkung untersucht und diskutiert. Der wesentliche Bestandteil ist die zentrale Aussage des Interaktionskonzeptes in der Motorradfahrersimulation und die Empfehlung für kostengünstige Aufbauten durch die Verwendung einer isometrischen Lenkung.

Den Abschluss bildet die Untersuchung des isometrischen Konzeptes mit einer dynamischen Plattform. Dafür wurde ein Bewegungsalgorithmus entwickelt, der lediglich den Rollwinkel simuliert. Mit dieser Untersuchung wird ein Ausblick gegeben und die Herausforderung einer

dynamischen Motorradfahrersimulation, anhand von Leistungskriterien und dem Vergleich der Simulatorerkrankung mit den vorherigen Studien, verdeutlicht.

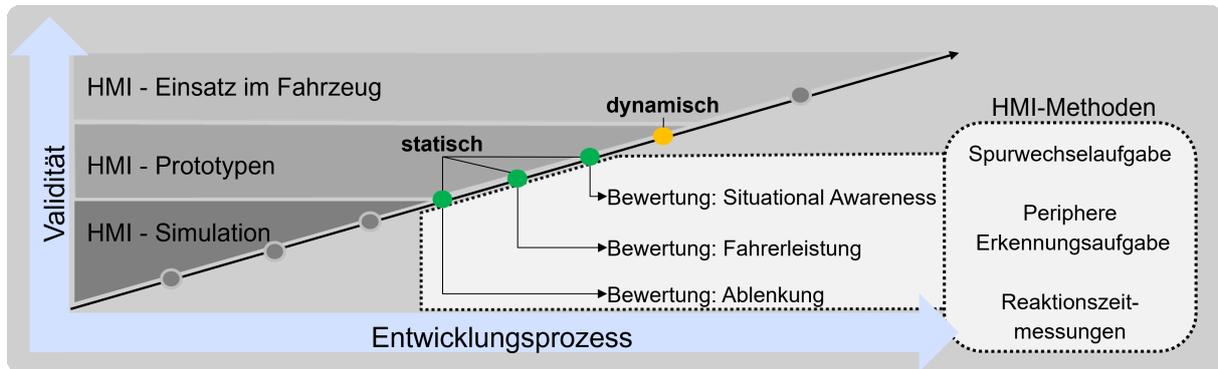


Abbildung 1.1: Angepasste Grafik für die Anwendung von Fahr simulatoren im Entwicklungsprozess, der benötigten Validität und geeigneter MMI-Methoden nach Miličić [29].

1.2 Neuwert der Arbeit

In dieser Arbeit wird die Entwicklung einer neuartigen isometrischen Lenkung für die Motorradfahrersimulation vorgestellt, evaluiert und die Grenzen des Anwendungsbereiches diskutiert. Es wird die Taxonomie von Bedienelementeigenschaften beschrieben, die möglichen Mensch-Maschine-Interface (MMI) Führungsgrößen darin aufgeführt, bereits vorhandene Motorradfahrersimulator-Lenkensysteme aus der Literatur eingeordnet und anschließend mit dem aktuellen Stand der Forschung verglichen.

Aus dem fehlenden wissenschaftlichen Konsens wird die erste Forschungsfrage abgeleitet, um die geeignete MMI Führungsgrößen zur Fahrzeugführung zu ermitteln.

Im Anschluss werden die möglichen Konfigurationen einer Motorradfahrersimulator Lenkung, basierend auf den Eigenschaften der Motorradfahrerdynamik im spezifischen die der Lenkwinkelverläufe, beschrieben und die zweite Forschungsfrage daraus abgeleitet.

Im Ganzen wird erstmals eine isometrische Lenkung entwickelt und der mögliche Einsatzbereich für die Anwendung in der Fahrersimulation gezeigt. Mit dieser Entwicklung ist es möglich, günstige Lenksysteme in der Forschung, Spielentwicklung und für Probandenstudien zu verwenden, um die Forschung in der Motorradfahrersimulation zu ermöglichen.

2 Stand der Forschung und Technik

Dieser Abschnitt beschreibt die technischen Grundlagen, die für die Entwicklung eines isometrischen und positionsrückmeldenden Lenkers notwendig sind. Anschließend folgen die Grundlagen zur Fahrzeugführung, die den essenziellen Anteil für diese Forschungsarbeit bilden. Sie bestehen aus den Ebenen-Modellen der zielgerichteten Tätigkeiten, des Fahrerlenkverhaltens und der Hierarchie der Fahraufgabe.

Darauffolgend wird die primäre Fahraufgabe im Kontext der Kontrolle eines Fahrzeugs aufgegliedert. Abschließend werden die Messgrößen dargestellt, um die Leistung der primären Fahraufgabe anhand objektiver und subjektiver Messgrößen zu erfassen. Zusätzlich wird das Multiple Ressourcen Modell eingeführt, weil darauf basierend eine Nebenaufgabe in der passenden Modalität ausgewählt wird.

Im Anschluss wird Bezug zum aktuellen Stand der Motorradfahrsimulation hergestellt. Neben einer Beschreibung unterschiedlicher Aufbauten der Simulatortechnik, werden Kategorien von Bedienkonzepten eingeführt und mit dem aktuellen Stand der Untersuchungen und Aufbauten verglichen. Den inhaltlichen Abschluss bildet der fahrdynamische Zusammenhang zwischen Lenkwinkel, Rollwinkel, Geschwindigkeit und Kurvenradius.

Die Forschungsfragen werden anschließend aus dem Stand der Technik für Motorradfahrsimulationen und den bekannten Herausforderungen sowie Untersuchungslücken abgeleitet.

2.1 Grundlagen zur Mess- und Systemtechnik

Die Grundlagen der verwendeten regelungstechnischen Anwendung, die in Kapitel 4.2.1 für die Positionsregelung sowie in Kapitel 4.3.1 zur Ansteuerung der dynamischen Plattform genutzt wird, soll im Folgenden thematisiert werden.

Der verwendete Direktantrieb für die Lenkung leistet ein Nenndrehmoment von maximal 24 Nm bei einer Winkelauflösung von 0.001° . Da der Schwerpunkt dieser Arbeit in der Einordnung des Fahrerverhaltens in verschiedene Verhaltensebenen und der Empfehlung eines Lenkkonzepts liegt, sind die Faktoren Systemidentifikation, Parametrierung und Reglerauslegung nicht ausführlich beschrieben.

Die Regelung des Lenkwinkels erfolgt durch einen diskreten Kaskadenregler anhand von drei Regelkreisen dargestellt in Abbildung 2.1. Der zweite Regelkreis wird als PI-Geschwindigkeitsregler und der äußere Regelkreis als PD-Positionsregler bezeichnet. Der Vorteil eines Kaskadenreglers gegenüber eines Standardregelkreises ist die schnelle Nachstellzeit des Geschwindigkeitsreglers beim Auftreten von Störungen. In dieser Entwicklung werden als Störung abrupte Lenkimpulse oder ein abruptes Loslassen des Lenkers betrachtet.

Zur Erfassung des Lenkmomentes am Lenker werden Dehnungsmessstreifen genutzt, die eine Kraftmessung in der Ebene ermöglichen. Aus dem Betrag kann das Abstütz- und Lenkmoment über den Lenkkopfwinkel berechnet werden [30]. Das errechnete Lenkmoment wird eingangsseitig am Fahrdynamikmodell genutzt, um anschließend die Sollposition an den Motor vorzugeben. Da die Positionsregelung nur für den Anwendungszweck ABK Motorradfahrersimulation genutzt wird, kann es zu dynamischen Fahrsituationen kommen, in dem der Regler keine hinreichende Performance bietet. Eine Möglichkeit bietet die Bewertung der Regelgüte anhand der Einschwingzeit und Regelabweichung.

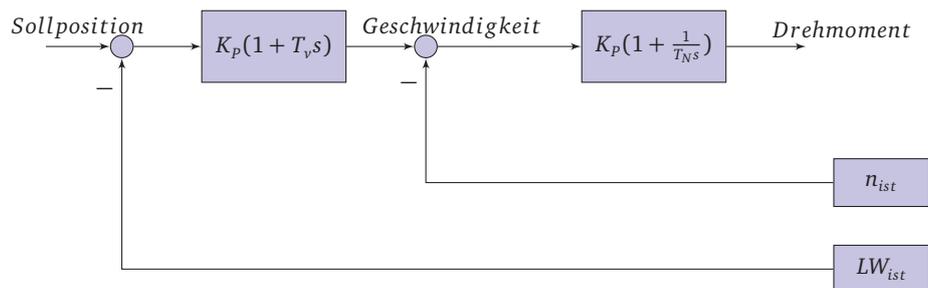


Abbildung 2.1: Schematische, reduzierte Darstellung des Kaskaden-Positionsreglers, der die technische Komponente der Mensch-Maschine-Schnittstelle darstellt.

Die Einschwingzeit ist die Zeit, die benötigt wird, bis sich ein Regelkreis nach einer Störung oder Änderung der Regelgröße wieder auf die Führungsgröße einschwingt. Die geeignete Wahl der Parameter kann die Einschwingzeit beeinflussen. In dieser Entwicklung handelt es sich um ein dynamisches System, das kontinuierlich eine Positionsänderung aufweist. Die Änderung der Sollposition in Abhängigkeit der Zeit, führt zu einer Nachstellzeit, die die Fahraufgabe negativ beeinflussen kann. Die Bewertung der Regelgüte kann anhand einer Sprungantwort und der benötigten Einschwingzeit bewertet werden. Bei dieser Art der Untersuchung handelt es sich um eine stationäre Zustandsänderung. Für dieses System beutet es, dass höhere Sollwinkel zu einer größeren Einschwingzeit führen. Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der Regelgüte bietet die zeitkontinuierliche Untersuchung anhand verschiedener Gradienten. Neben der Sprungantwort kann bewertet werden, wie gut ein Regelsystem auf eine Änderung der Sollgröße oder eine Störung reagiert. In Kapitel 4.2.1 werden die Untersuchungen für unterschiedliche Sprungantworten sowie die kontinuierliche Änderung während der Untersuchungsfahrt bewertet.

Die Entwicklung des Messsystems zur Erfassung des Lenkmomentes an den Lenkerenden, ist in der Veröffentlichung Werle und Diermeyer [30] dokumentiert und ausgewertet. Aus diesem Grund wird auf eine Beschreibung in diesem Kapitel verzichtet.

2.2 Grundlagen der Fahrzeugführung

Das Führen eines Fahrzeuges kann als Arbeitsaufgabe mit unterschiedlichen Tätigkeiten und Arbeitsinhalten betrachtet werden [31]. Abbildung 2.2 stellt den Teilprozess zur Ausführung und Kontrolle von Bewegungen dar. Die Steuerungstätigkeit erfordert eine kontinuierliche Verarbeitung von Informationen (Umwelt, Reize). Diese besteht aus der Wahrnehmung der Informationen anhand der Sinne (Stimuli) und der darauffolgenden Auswahl einer Planung (Reaktion), basierend auf einem Ziel und einer Regel. Die motorische Bewegung führt zu einer Wirkung, die als Feedback die Umwelt und Reize ändert - wiederbeginnd mit der Informationsdarstellung [32, S. 264-266]. Ein Teilprozess davon ist die Handlungssteuerung. Diese bezeichnet die Vorberei-

tung und Planung eines zielgerichteten Verhaltens, das aus einer motorischen Bewegung oder aus verschiedenen Bewegungen besteht [32, S. 267-269].

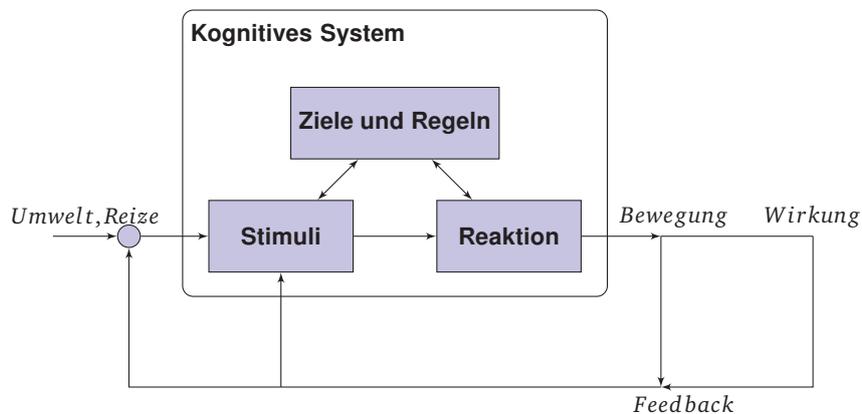


Abbildung 2.2: Übersicht der kognitiven Teilprozesse bei der Planung, Ausführung und Bewegung angepasste Darstellung nach [32, S. 265].

Im Kontext der Fahrzeugführung werden beim Erlernen des Fahrens sogenannte Reiz-Reaktion-Verknüpfungen gebildet (Regeln), die zu einem Auslösemechanismus führen. Unterschieden wird in angeborene und durch Lernerfahrung gebildete Verknüpfungen. Letztere sind für diese Abhandlung relevant. Diese erfordern einen Stimulus und eine bereits gespeicherte Regel aus der Lernerfahrung, worauf ein automatisiertes sensorisches Muster wiedererkannt wird und zu einer Handlung führt [33]. Das Erlernen der Steuerung eines Einspurfahrzeuges, beispielsweise der des Fahrradfahrens, kann in die Gesetzmäßigkeit übertragen werden „Gesetz der Übung“ [34, S. 35-37]. Schröder [34, S. 40-41] schreibt: „Für eine Verknüpfung von Reiz und Reaktion ist ein mehrmaliges Zusammentreffen erforderlich. Die Verbindung wird umso stärker, je häufiger sich die Reiz-Reaktions Folge vollzieht. Wiederholung stärkt die Verknüpfung, mangelnder Vollzug schwächt sie ab.“ Das mehrmalige Zusammentreffen beschreibt eine Wiederholung des Fahrversuches nach einem Fahrfehler und die Übung die Entwicklung einer Regel, die auch als Handlungssteuerung betrachtet werden kann. Ein Zusammenführen der Theorien kann bedeuten, dass die Qualität eines Fahrsimulators anhand der richtigen Reiz-Reaktions-Folgen, die in der Realität erlernt werden und auch als Automatismus verstanden werden, bewertet werden kann oder zumindest eine Bewertung der Interaktion zwischen dem Menschen und der Maschine ermöglicht.

2.2.1 Belastung, Beanspruchung und Leistung

Die psychische Belastung, auch als mentale Beanspruchung bezeichnet, ist eine äußere Einwirkung auf den Menschen, die sich unterschiedlich auf die individuelle Person auswirkt [35]. Eggemeier et al. [36] definieren, dass die Arbeitsbelastung einen begrenzten Teil des Anwenders beansprucht, um eine bestimmte Aufgabe auszuführen. Hinzu kommt, dass diese Arbeitsbelastung nicht nur von der Aufgabe, sondern auch vom Verhältnis der Menge an verfügbaren Ressourcen, die der Anwender zur Verfügung stellt, abhängt. Die Leistung ist eine Fähigkeit, eine bestimmte oder mehrere Aufgaben erfolgreich zu erfüllen. Eine hohe Leistungsfähigkeit kann in der Regel auf eine geringe Beanspruchung zurückgeführt werden. Diese wiederum ist von der Erfahrung, der Persönlichkeit, der Motivation und der Art der Belastung abhängig.

De Waard und Brookhuis [37] entwickelten das Modell der mentalen Beanspruchung, Leistung und Belastung. Dafür unterteilten sie in Leistungsregionen, die auf den Fahrerzustand und

die aufgabenabhängigen Belastungen zurückzuführen sind (Abbildung 2.3). Dabei beziehen sie sich nicht auf die allgemeinen Zusammenhänge, sondern auf den Bezug zur Fahraufgabe. Die Abbildung zeigt, dass die Leistungsfähigkeit des Fahrers in den Bereichen A1 bis A3 die höchste Leistung aufweist. A2 beschreibt die optimale Belastung ohne einer zusätzlichen Aufgabe oder Einflüssen durch den Fahrerzustand. Dieser Bereich stellt das Segment bei der Erfüllung der Fahraufgabe unabhängig davon, ob sie an einem Fahrsimulator oder in der Realität durchgeführt wird, dar. In den Bereichen A1 und A3 ist bei gleichbleibender Leistung ein Anstieg der Beanspruchung bis zum Ende des jeweiligen Spektrums zu sehen. Diese gleichbleibende Leistung lässt sich über eine Zurverfügungstellung weiterer kognitiver Ressourcen erklären. Im Kontext der Fahrsimulation für ABK-Untersuchungen bedeutet es, dass einer aufgabenabhängige Belastung bei gleichbleibender Leistung zu einer signifikant unterschiedlichen Beanspruchung von Bereich A3 führen muss.

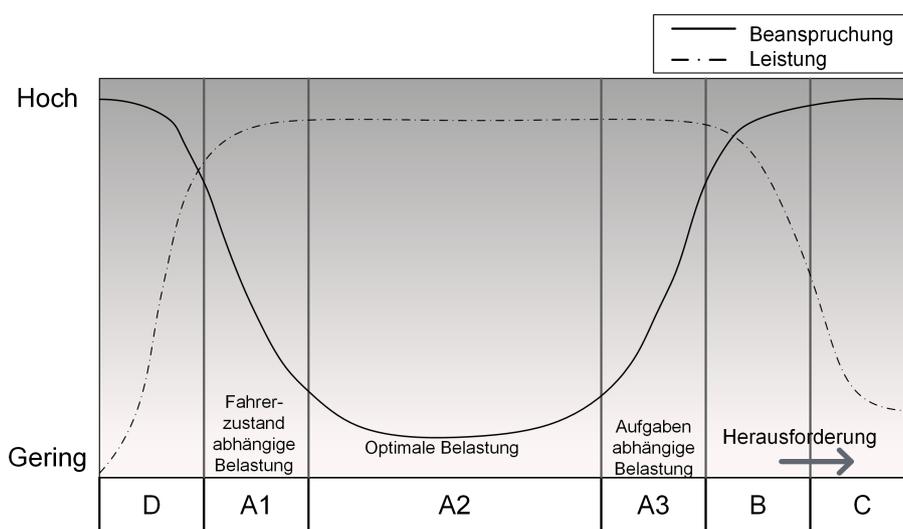


Abbildung 2.3: Angepasste Grafik mit den Zusammenhängen Leistung, Beanspruchung, Belastung sowie der dazugehörigen Kategorien De Waard und Brookhuis [37] nach Yerkes, Dodson et al. [38].

Buschardt [39] untersuchte synthetische Lenkmomente und den Einfluss dieser auf die Leistung des Fahrers. Dazu stellte er den Zusammenhang zwischen Belastung, Leitungsvoraussetzung, Fahrer-Fahrzeug-System, Leitung und Beanspruchung dar (Abbildung 2.4). Wie in der ursprünglichen Darstellung enthalten, beschreibt er zusätzlich den Einfluss und die Auswirkung auf die Kategorien. Das Fahrer-Fahrzeug-System, das die Interaktion zwischen dem Menschen und der Maschine darstellt, kann aus den Bedienelementen Lenkung, Bremse, Gangwahl und sekundärem System, die eine Auswirkung auf die Beanspruchung und Leistung haben können, bestehen.

In Tabelle 2.1 sind Kriterien als Einfluss und Auswirkung dargestellt. Methodisch betrachtet gibt diese Tabelle den Zusammenhang zwischen den Kriterien und den Kategorien wieder, der genutzt werden kann, um Bewertungsmethoden abzuleiten. Diese unterscheiden sich in objektiven und subjektiven Kriterien. In Kapitel 4.1.2, 4.2.3 und 4.3.3 werde die aufgeführten Kriterien genutzt, um Bewertungsmethoden auszuwählen. Die Kriterien wurden für die Bewertung von Pkw-Untersuchungen erstellt und können in Buschardt [39] nachgelesen werden. Für die Anwendung im Segment der Motorradfahrsimulation sind ergänzte Kriterien in Tabelle 2.1 kursiv enthalten. Im Nachfolgenden wird auf die wichtigsten Kriterien in Bezug auf die Motorradfahrsimulation für diese Forschungsarbeit eingegangen, um im Studiendesign die dazugehörige Einflusskriterien zu berücksichtigen und in der Auswirkung zu erfassen.

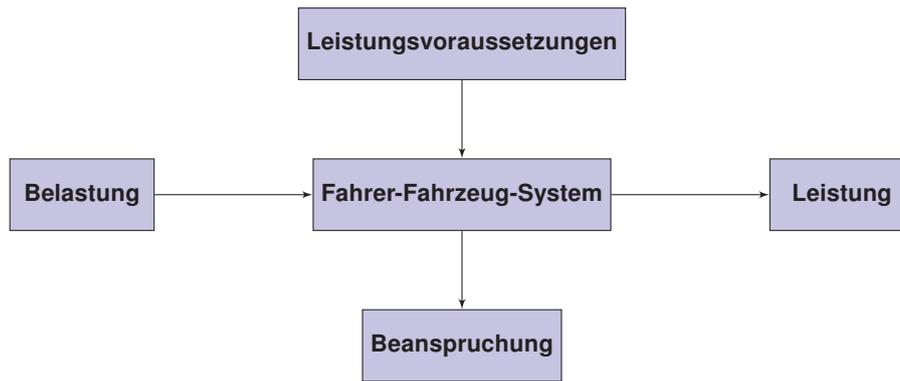


Abbildung 2.4: Angepasste Darstellung der Zusammenhänge zwischen Belastung, Leistungsvoraussetzungen, Beanspruchung und Leistung [39, S. 195].

Tabelle 2.1: Aufteilung der Kriterien in Einfluss und Auswirkung in Bezug zu den Zusammenhängen in Abbildung 2.4.

	Einfluss		Auswirkung	
Belastung	Leistungsvoraussetzung	Beanspruchung	Leistung	
Fahrzeugverhalten	Individuelle Eigenschaften	Lenkaktivität	Fahrzeit	
Fahrmanöver	Fahrerfahrung	Leistung in Nebenaufgabe	Fahrfehler	
Fahraufgabe	Persönlichkeit	Subjektivbeurteilung	Subjektivbeurteilung	
Straßenzustand	Motivation	Physiologische Messgrößen	Spurabweichung	
Verkehrssituation	Internes Leistungskriterium	-	Fahrgeschwindigkeit	
<i>Geschwindigkeit</i>				

Die Entwicklung und Nutzung von Fahrsimulatoren wird aufgrund technischer Herausforderungen anwendungszweckbasiert durchgeführt [40, S. 139-141]. Das bedeutet, dass ein Fahrsimulator für das Untersuchungsziel Bewertung des Längskomfort eine hohe Validität in der Längsbeschleunigung darstellen kann, für die Bewertung der Querdynamik jedoch nicht geeignet ist. Daher muss der Anwendungszweck und das Untersuchungsziel berücksichtigt werden. Die Limitation ergibt sich aus dem Fehlen von Erkenntnissen der Bereiche: technischer Aufbau des Fahrsimulators, in der Validität der Fahrdynamik und in den Simulationsalgorithmen [41, S. 143-147]. Diese Kriterien schränken die Verwendung des jeweiligen Simulators im Fahrmanöver und oder in der Erfüllung der Fahraufgabe ein [42, S. 94-100]. In Kapitel 2.4 wird der aktuelle Stand näher beschrieben.

In Tabelle 2.1 ist die Geschwindigkeit als Kriterium für die Kategorie Belastung mit aufgenommen worden. Einspurfahrzeuge, und damit auch die entsprechenden Fahrdynamikmodelle, neigen verstärkt im langsameren Geschwindigkeitsbereich zu einem labilen Gleichgewicht und zum Umfallen [43, S. 257]. Die Eigenstabilisierung erfolgt unter anderem durch die Rotation der Räder und die daraus entstehenden Kräfte, genauer beschrieben in Kapitel 2.4.2, sowie durch die Lenkinteraktion des Fahrers zur Stabilisierung und Steuerung. Daher hat die Geschwindigkeit einen Einfluss und muss als Kriterium für die Belastung herangezogen werden.

In Kapitel 2.2.3 wird die Fahraufgabe der Definition nach der drei Ebenen Hierarchie beschrieben. Im Kontext des Einflusses als Belastung, kann die Fahraufgabe zu einer erhöhten Beanspruchung führen. Ein Motorradfahrer wählt die Position auf der Fahrbahn in Abhängigkeit der Persönlichkeit, der Fahrsituation, der Bodenbeschaffenheit und bei Kurvenfahrten der Kurventechnik entsprechend. Wird die Fahraufgabe des mittigen Fahrens gewählt, kann diese zu einer erhöhten Belastung führen, die als Beanspruchung oder Leistung messbar sein kann. Dieser Einfluss muss bei Studien berücksichtigt werden, weil ein unterschiedliches Lenkverhalten auf-

grund der Aufgabe auftritt und die Fahrerfertigkeit negativ beeinflussen kann, näher beschrieben in Kapitel 2.2.4 [44, S. 112-113].

Die Fahrerfahrung ist ein Einfluss, das als gefahrene Zeit oder Strecke angegeben werden kann. Für die Erfüllung der Fahraufgabe, bedeutet es, dass bei einer hinreichenden Fahrerfahrung von einem bereits erlernten Lenkverhalten ausgegangen werden kann, näher beschrieben in Kapitel 2.2.3 [45]. Dieses Lenkverhalten wird in zwei Kategorien eingeteilt, die in Kapitel 4.1 näher beschrieben werden, um die Lenkinteraktion bewerten zu können.

Diese Einflüsse, können sich auf die Beanspruchung und die Leistung des Fahrers auswirken sowie in Wechselwirkung zueinanderstehen. Buschardt empfiehlt mehrere parallele Bewertungsmethoden zu nutzen, um Aspekte zu erfassen, die nicht direkt auf die abhängige Variable auswirken.

Die resultierende Beanspruchung ist messbar in der Lenkaktivität und kann als Maß für die Qualität und Richtigkeit der MMI genutzt werden [39, S. 196]. Eine weitere Möglichkeit ist die Ermittlung des Fahrerlenkverhaltens, ob eine antizipatorische Steuerung oder kompensatorische Regelung auftritt, näher beschrieben in Kapitel 2.2.4. Die Ermittlung und Einordnung der Fahrerlenkverhaltens kann Aufschluss über die Gesamtqualität und Validität der simulierten Fahrt geben. Die Leistung in der Nebenaufgabe oder als zusätzliche Fahraufgabe, kann als Indikator genutzt werden, wenn ein Vergleich unterschiedlicher Fahrer-Fahrzeug-Systeme oder Fahrsimulatoren durchgeführt wird, um Einflüsse und Effekte zu ermitteln und bewerten. Dieses Maß besitzt eine quantitative Eigenschaft, um Änderungen hierarchisch im Einfluss zu gliedern. Als Leistungskriterien für die Querführung eignen sich die Messung geeigneter Fahrfehler, die Spurabweichung und Subjektivbeurteilung als Grad der Erfüllung sowie die Fehler der Nebenaufgabe.

2.2.2 Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten

Das verknüpfte Handlungsmodell nach Donges [46] und Rasmussen [33] in Abbildung 2.5 bildet die Grundlage für die Untersuchungsziele dieser Arbeit. Rasmussen unterteilt in drei Verhaltensebenen, die auf eine ähnliche Unterscheidung bereits durch Fitts und Posner [47] beschrieben wird. Dabei unterscheiden Fitts und Posner [47] in drei Phasen des Erlernen einer Fähigkeit: Die frühe oder kognitive Phase, die mittlere oder assoziative Phase und die abschließende oder autonome Phase. Rasmussen [33] ordnet diese Phasen einem Verhaltensmodell zu, das aus dem wissensbasierten (kognitive Phase), regelbasierten (assoziative Phase) und fertigkeitbasierten Verhalten (autonome Phase) besteht.

Das wissensbasierte Verhalten wird von Rasmussen [33] als eine zu entwickelnde Regel beschrieben, wenn ein Verhalten nicht zu einem Ziel führt. Dabei werden sensorische Informationen zunächst mit einem vorhandenen Wissen zugeordnet und eine bereits vorhandene Verhaltensregel ausgeführt. Führt dies Regeln zu einem Fehler, beginnt der Mensch den Lernprozess einer neuen Regel. Dazu werden sensorische Informationen genutzt, um den aktuellen Zustand zu identifizieren und Muster zu erkennen. Anschließend erfolgt eine Entscheidungsfindung, die auf einer Entscheidungstabelle oder explorativem Verhalten beruhen kann. Die darin enthaltenen Entscheidungen werden anschließend geplant, um eine motorische Aktion auszuführen. Diese Ausführung kann der Situation entsprechend intensiv oder extensiv erfolgen, um das Ziel zu erreichen. Diese Verhaltensebene weist gegenüber den anderen Verhaltensebenen eine hohe mentale Beanspruchung und eine vergleichsweise längere zeitliche Reaktion auf.

Das regelbasierte Verhalten oder die assoziative Phase ist an einer reduzierten Anzahl an falscher Verhaltensweisen oder einem zielführenden Verhalten erkennbar. Die sensorischen Informationen werden erkannt und assoziativ einem erlernten Handlungsschema zugeordnet. Abschließend wird diese Regel angewandt und eine motorische Aktion ausgeführt, die zu einem hinnehmbaren Ziel führt. In dieser Verhaltensebene kann eine signifikant geringere mentale Beanspruchung vorliegen und eine schnellere zeitliche Reaktion im Vergleich zum wissensbasierten Verhalten beobachtet werden.

Die autonome Phase oder das fertigkeitbasierte Verhalten ist die motorisch schnellste und kann mit geringer mentaler Beanspruchung einhergehen. Neben der zeitlichen Ausführung und der mentalen Beanspruchung, die anhand geeigneter Methoden messbar sind, kann ein automatisiertes Verhalten des Menschen, auch als Automatismus bezeichnet, beobachtet werden [48, S. 233] [49, S. 248].

Automatismen sind erlernte Verhaltensweisen oder Verhaltensmuster, die unterbewusst und ohne das Anwenden einer Regel durch bestimmte Reize ausgeführt werden.

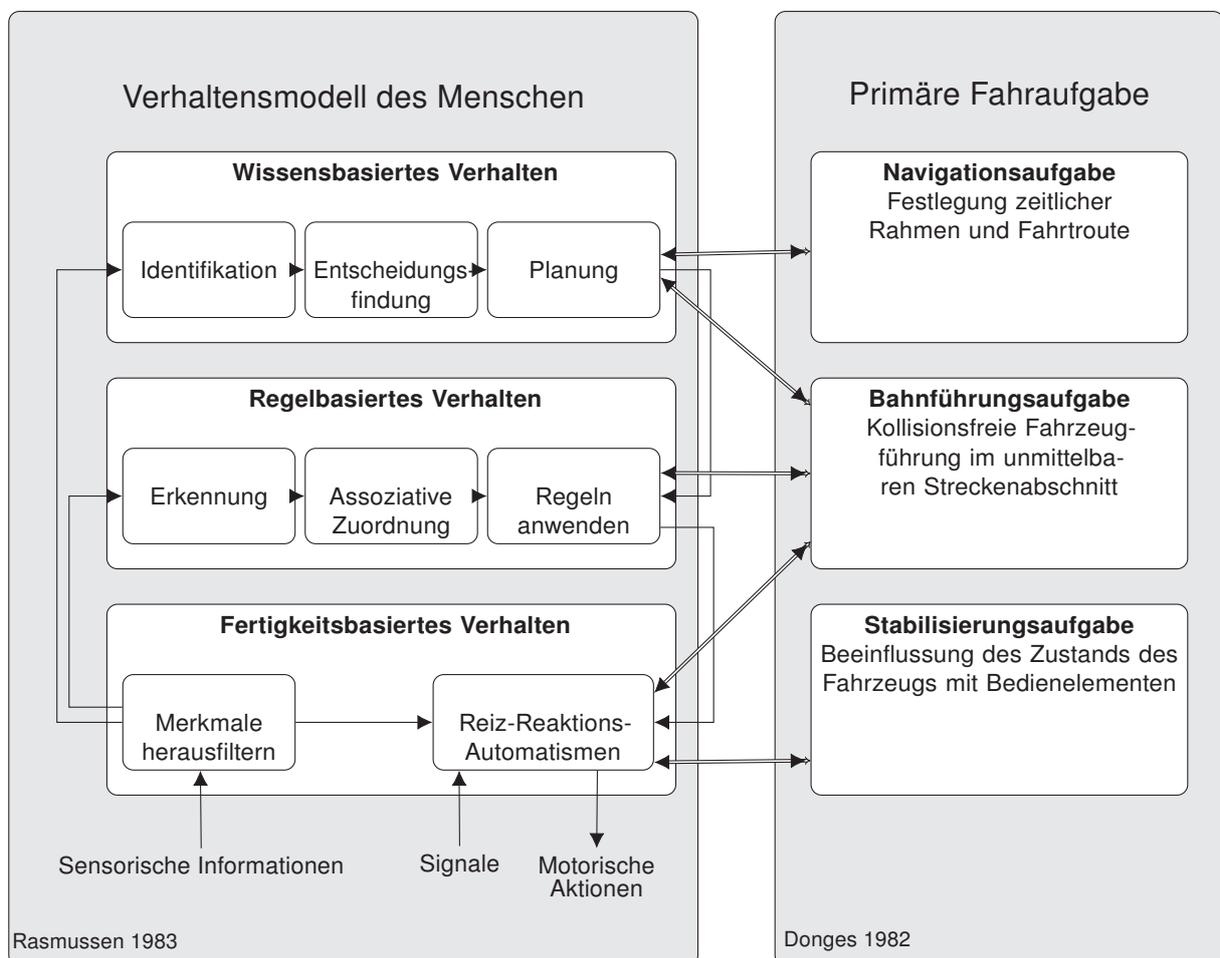


Abbildung 2.5: Reduzierte Darstellung der Verknüpfung des Handlungsmodells nach Rasmussen mit dem Drei-Ebenen-Modell nach Donges in Anlehnung an Wimmer [50].

Basierend auf den drei Verhaltensebenen beschreibt Rasmussen [51] drei Fehlerarten:

Fertigkeitsbasierte Fehler treten auf, wenn grundsätzlich bekannte Situationen durch sensorische Informationen zu einer automatisierten Ausführung führen, die aufgrund der gewählten Handlungsstrategie fehlerhaft ist. Zu regelbasierten Fehlern kommt es aufgrund von fehlenden Informationen oder dem falschen Einschätzen einer entsprechenden Situation. Dabei ist die

gewählte Strategie unpassend und führt zur Wahl eines nicht zielführenden Verhaltens. Ein wissensbasierter Fehler tritt auf, wenn ein unbekanntes oder falsches Wissen über ein System vorliegt, das durch mangelnde Anwendung oder Erfahrung entsteht.

Überträgt man diese Verhaltensweisen auf die Fahrsimulation, kann das mit einem hinreichenden sensorischen Informationsfluss zu einem fehlerfreien Fahren führen. Mit einer geeigneten Zuordnung der Fehlerarten und Fehlertypen kann die entsprechende Verhaltensebene zugeordnet werden [52].

2.2.3 Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Abbildung 2.5 der primären Fahraufgabe nach Donges [46].

Die primäre Fahraufgabe umfasst die drei Ebenen Navigationsaufgabe, Bahnführungs- und Stabilisierungsaufgabe. Die Navigationsaufgabe umfasst die Festlegung einer Fahrroute zur effizienten Routenführung vor und während einer Fahrt. Änderungen aufgrund von Verkehr oder anderen Bedingungen werden berücksichtigt und die aktuelle Position und Richtung überwacht. Die zeitliche Anforderung wird dabei der Effizienz zugeordnet [53, S. 19].

Die Fahrt selbst wird in der Bahnführungs- und Stabilisierungsaufgabe erfüllt. Dabei wird die Eigenbewegung der Objekte im Fahrraum berücksichtigt, um kontinuierlich auf Veränderungen reagieren zu können. In der Bahnführungsaufgabe wird die kollisionsfreie Fahrzeugführung im unmittelbaren Streckenabschnitt erfüllt. Der zeitliche Rahmen kann als regelbasiertes Verhalten ausgeführt werden, um Sollposition und Sollgeschwindigkeit als antizipatorische Handlung korrigieren zu können. Überträgt man dieses Handeln in die Regelungstechnik, ist ein Steuern bzw. ein offener Regelkreis beobachtbar, näher beschrieben in Kapitel 2.2.4.

Die Stabilisierungsaufgabe wird mit der Eigenschaft eines regelmäßig korrigierenden Eingriffs in den Regelkreis beschrieben, welcher die Kompensation von Abweichungen zum Ziel hat. Rasmussen [33] beschreibt, dass das Verhalten dabei in Abhängigkeit zu der individuellen Erfahrung und der erlebten Häufigkeit der jeweiligen Situation steht. Die Stabilisierung des Fahrzeuges erfolgt in einem kleinen zeitlichen Rahmen, der von der Anzahl an sensorische Informationen abhängig ist. Damit hat die Art und die Güte der Fahrsimulation einen Einfluss auf die Untersuchungsziele wie beispielsweise der Eingriff von Fahrerassistenzsystemen zur Stabilisierung des Fahrzeugs. Bei Übernahme-situationen im Bezug zu Fahrerassistenzsystemen kann die Übergabe an den Fahrer in dieser Ebene beschrieben werden.

Lindberg [54] schreibt: *„Trifft der Mensch auf eine Maschine, deren Verhalten er nicht vollständig aus bekannten Modellen vorhersagen kann, wird während der ersten Bedienung wissensbasiert ein neues mentales Modell aufgebaut und durch die fortgesetzte Nutzung verfeinert bzw. korrigiert“*. Für die Untersuchung der Lenkinteraktion im Rahmen der Fahrsimulation bedeutet es, dass bekannte mentale Modelle, die durch die Fahrerfahrung in der Realität gebildet werden, eine Bewertung von Lenksystemen mit grundsätzlichen Unterschieden in der Führungsgröße ermöglichen. Trifft der Fahrer auf eine Führungsgröße während der ersten Bedienung, die keine Ähnlichkeit zur Realität aufweist, wird ein neues mentales Modell in der wissensbasierten Verhaltensebene aufgebaut. Damit sind Verhaltensfehler in dieser Ebene beobachtbar, die Rückschlüsse auf die entsprechende Ebene ermöglichen. Für eine bekannte Führungsgröße kann ein regelbasiertes Verhalten auftreten und es kann auf ein erlerntes mentales Modell aus der Realität geschlossen werden. Damit kann der Fahrer in der fortgesetzten Nutzung mit

einer Verfeinerung nach einem Erstkontakt beginnen und es kann eine bessere Spurhaltung beobachtet werden.

2.2.4 Zwei-Ebenen-Modell für das Fahrerlenkverhalten

Das Fahrerlenkverhalten wird häufig mit Prozessen aus regelungstechnischen Methoden beschrieben, weil der Mensch im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis die Aufgabe eines Reglers übernimmt und mehrere sensorische Informationen nutzt, um sein Verhalten der Situation entsprechend anzupassen. Mit dem Ziel ein Phänomen zu beschreiben, reicht es aus, Modelle vereinfacht darzustellen [53, S. 20]. Abbildung 2.6 ist eine angepasste Darstellung aus Winner, Hakuli und Wolf [53, S. 20], die bereits die aus dieser Arbeit gewonnene Erkenntnis des Lenkmoments enthält. Dabei wird in Führungs- und Stabilisierungsebene unterschieden. Erstere beschreibt die Fähigkeit des Menschen, vorausschauend zu fahren. Letztere beinhaltet das zum Zeitpunkt der Abweichung eingreifende Verhalten.

Die antizipatorische Steuerung befindet sich in der Führungsebene und weist ein vorwegnehmendes Lenkverhalten auf, das die Sollkrümmung der Fahrbahn berücksichtigt. Die Antizipationszeiten der Lenkreaktion liegen in der Größenordnung von 1 s und sind proportional der Fahrgeschwindigkeit [53, S. 20]. Unter der antizipatorischen Steuerung aus Abbildung 2.6 versteht man ein kontinuierliches Lenken, was durch einen geringeren Lenkgradienten an der Zeitkonstante T_A erkennbar ist.

Dieses kann sich wiederum auf den Median, Mittelwert und Interquartilsabstand des Lenkmoments auswirken.

Die kompensatorische Regelung, dargestellt in Abbildung 2.6 unten, weist einen klassischen geschlossenen Regelkreis auf, der mehrere sensorische Informationen als Rückführung berücksichtigt. Dabei hat der Fahrer das Ziel, die Abweichung der Führungsgröße so gering wie möglich zu halten. In dieser Ebene weist die Reaktion einen hohen Gradienten auf, der als Sprungfunktion bezeichnet wird. Diese schnelle Reaktionszeit wird über die Zeitkonstante τ auf die verkürzte Fahrertotzeit zurückgeführt, um geringere Stabilitätsreserven in der Fahrdynamik auszugleichen.

Befindet sich der Fahrer in der Führungsebene, weist die Fahraufgabe gegenüber der Stabilisierungsebene eine geringere Belastung auf. Diese Auswirkung kann anhand geeigneter Methoden erfasst werden, um die Beanspruchung des Fahrers zu ermitteln.

Wolf [56, S. 11-12] beschreibt das Lenkgefühl, bestehend aus dem Hand-Arm-System und dem Lenkrad, im engeren Sinn. Dabei geht er auf fahrwerkstechnische Parameter ein, die das Lenkgefühl und die Fahraufgabe subjektiv und objektiv beeinflussen können. Buschardt berichtet, dass der Mensch ein schlechtes Fahrverhalten des Fahrzeugs schnell kompensiert und dadurch keine objektive Messung der Leistung ermöglicht (Tabelle 2.1). Diesen kompensierenden motorischen Ausgleich führt der Mensch als Regler aus, der die Regelleistung bzw. mentale Beanspruchung ansteigen lassen kann [39, S. 160-161] [39, S. 194-196].

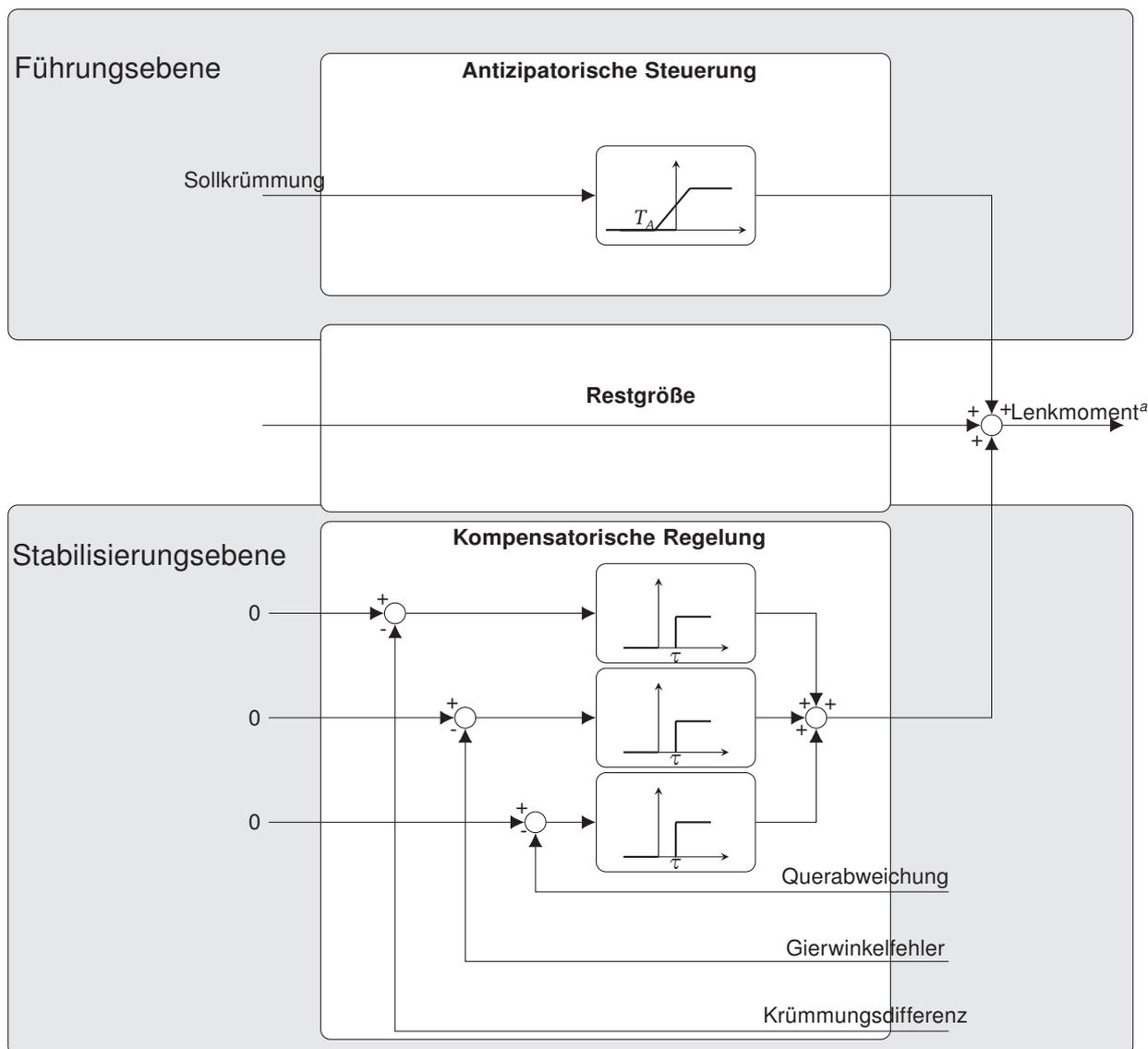


Abbildung 2.6: Fahrerlenkverhalten anhand eines regelungstechnischen Modellansatzes für die Führungs- und Stabilisierungsebene ursprünglich nach [55] zu angepasster Grafik [53, S. 19-22]. Diese Abbildung ist bereits mit der Erkenntnis aus dieser Forschungsarbeit angepasst - der Ausgang der Gesamtsumme ist ein Lenkmoment und entspricht damit Einspurfahrzeugen.

^aIn der ursprünglichen Quelle wird an dieser Stelle der Lenkwinkel verwendet.

2.3 Messgrößen zur Bewertung der primären Fahraufgabe

Die primäre Fahraufgabe ist in den Ebenen der Bahnführungs- und Stabilisierungsaufgabe im Kontext der Verhaltensebenen beschrieben. Zusätzlich ist das Fahrerlenkverhalten in der Führungsebene als antizipatorische Steuerung und in der Stabilisierungsebene als kompensatorische Regelung mit den Eigenschaften und Auswirkungen aufgeführt. Der Zweck dient der Eingliederung des Verhaltens im Modell und in der Interaktion mit dem Bedienelement Lenkung im Rahmen der Motorradfahrsimulation. Zur Beurteilung bieten sich subjektive und objektive Messmethoden an, die dem Untersuchungsziel entsprechend gewählt werden. Zusätzlich werden die Fehlerarten nach Rasmussen [51] und erweitert durch Reason et al. [57] eingeführt, um

einen Zusammenhang mit den Verhaltensebenen herzustellen. Die Fehlerklassifikation oder unsichere Handlung ist in beabsichtigt und unbeabsichtigt unterteilt. Unbeabsichtigt beinhaltet die regelbasierten Fehler und beabsichtigt Routineverstöße, Ausnahmeverstöße und Sabotage. Für die Motorradfahrersimulation treten beabsichtigte Verstöße auf, wenn ein bereits erlerntes mentales Modell nicht mit der virtuellen Interaktion übereinstimmt und routinierte Handlungen zu Verstößen führen. Unbeabsichtigte Fehler können durch korrekte, virtuelle Interaktionen, die zur falschen Zeit oder in der falschen Abfolge durchgeführt werden, auftreten [58, S. 48-50].

2.3.1 Objektive Messgrößen

Knappe, Keinath und Meinecke [28] stellen Bewertungsmethoden zusammen, die in der Fahrersimulation Verwendung finden, um fahrerunterstützende Systeme anhand objektiver Messgrößen zu bewerten. Dazu unterteilt er in Spurhalte- und Lenkmaße. Die Standardabweichung der Lateralen Position (SDLP) wird bestimmt anhand der gemessenen Abstände vom Mittelpunkt des Fahrzeugs zum linken oder rechten Fahrbahnrand und bildet ein bewertbares Spurhaltemaß. Verwendung findet diese in der Beurteilung der Ablenkung oder der Spurhaltequalität eines Systems. Je größer die Abweichung desto größer ist auch eine mögliche Überschreitung des Fahrbahnrandes. Für die Motorradfahrersimulation kann der SDLP genutzt werden, wenn eine geeignete Fahraufgabe gewählt wird, um die Führungs- oder Stabilisierungsgüte des virtuellen Motorrads zu bewerten.

Ein weiteres Lenkmaß ist die Fahrbahnüberschreitung, auch bezeichnet als LANEX, die auch als Fehlerart betrachtet werden kann. Knappe, Keinath und Meinecke [28] schreiben, dass die Definition in strenge und weniger strenge Kriterien unterteilt wird. Als streng wird eine Überschreitung der Fahrbahn mit der Außenseite des Fahrzeugs bezeichnet. Diese Unterteilung gilt nicht für die Motorradfahrersimulation, weil es sich um ein Einspurfahrzeug handelt. Die Auswertung des LANEX kann als Anzahl der Überschreitungen pro gefahrenen Kilometer oder als Dauer außerhalb der Fahrbahn angegeben werden, wobei die Zeitangabe relativ (in Prozent) oder absolut (in Sekunden) erfolgen kann. Dieses Maß wird der unbeabsichtigten unsicheren Handlung zugeordnet.

Die Anzahl an Stürzen, die während des Fahrversuchs zu verzeichnen sind, bildet eine weitere objektive Messgröße. Bei Einspurfahrzeugen stellt der Sturz einen schweren Fehler dar, weil der Fahrer nicht in der Lage ist das Fahrzeug zu kontrollieren oder die Kontrolle über dieses verliert. Diese Messgröße kann verwendet werden, um Einflüsse auf den Fahrer oder das Fahrzeug zu ermitteln und zu bewerten. Dieses Maß wird der beabsichtigten Handlung zugeordnet.

Übertragen aus dem Zweispursektor werden die Lenkmaße Standardabweichung, Mittelwert und Median des Lenkwinkels verwendet. Dabei erweist sich die Betrachtung des Lenkwinkels für Einspurfahrzeuge nicht als zielführend, näher beschrieben in Kapitel 2.4.2 und Kapitel 4.2. Diese statistischen Lenkmaße können Aufschluss über den Zustand des Fahrers, die Validität der Lenkung oder die Verhaltensebene geben [28]. Eine Interpretation sollte mit Vorsicht durchgeführt werden und sorgfältige vorbereitete Studien als Basis aufweisen.

Pless et al. [18] beschreiben den Zusammenhang der Lenk-Roll-Kopplung, der eine direkte Betrachtung des Lenkmaßes ermöglicht. Magiera [59][S. 35-36] verwendete den Rollwinkel und die Rollraten als Messgröße, um auf die Fahrfertigkeit des Probanden zu schließen. Er beschreibt, dass mit entsprechenden Kenngrößen und unter bestimmten Randbedingungen auf Verhaltenstypen und Fertigkeiten geschlossen werden kann. Die Rollbewegung ermöglicht

aufgrund der Lenk-Rollkopplung eine Identifikation des Fahrfertigkeitsniveaus anhand von Korrekturen bei einem spezifischen Manöver.

2.3.2 Subjektive Messgrößen

Die Erfassung von subjektiven Messgrößen erfolgt häufig anhand von Fragebögen. Diese Methode ist gängige Praxis in der Fahrsimulation, um Einflüsse auf den Menschen zu bewerten.

Die Erfassung der mentalen Beanspruchung hat das Ziel, die Belastung anhand einer zusätzlichen Aufgabe oder der Fahraufgabe zu bewerten. In Abbildung 2.3 ist eine Unterteilung der Belastung anhand von Bereichen und der daraus möglichen Beanspruchung für den Fahrer beschrieben. Hart [60] beschreibt eine Methode, die es ermöglicht, anhand eines validierten Fragebogens mit geeigneten Fragen die Einflüsse auf den Menschen zu erfassen. Dazu wird in geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen sowie die subjektive Leistung, Anstrengung und Frustration unterteilt. Die Skalen beginnen anhand einer numerischen Rating-Skala bei 0 und enden bei 20 [61]. Pauzié und Gelau [62] entwickelten einen Fragebogen für die Anwendung bei Motorradstudien: Riding-Activity-Load-Index (RALI). Dieser basiert auf dem Vorgänger Driving Activity Load Index (DALI) und dem NASA TLX, wobei eine Anpassung der Fragestellung erfolgte.

Buschardt [39] untersuchte unter anderem die Auswirkung von synthetischen Lenkmomenten auf den Menschen. Er beschreibt die verschiedenen Möglichkeiten und Methoden, um das Lenkgefühl zu bewerten und unterscheidet außerdem in gewöhnliche Probanden und Experten.

Dazu stellt er Fragebögen gegenüber, die sich in die Subjektivbeurteilung folgender Faktoren unterteilen: Fahrverhalten, Lenkverhalten bei Übersetzungen, Lenkverhalten durch erfahrene Fahrer, normale Fahrsituationen, Geradeauslaufeigenschaft, Lenkverhalten zu Referenzfahrzeugen, Krafteingabe und Wegrückmeldung. Auch die Subjektivbeurteilung durch Normalfahrer geht mit ein [39, S. 197-219].

Unterreiner [63] befasst sich mit der Erstellung von Mehrkörpermodellen zur Anwendung in der Fahrsimulation, um Unterschiede bei Radaufhängungen in der virtuellen Umgebung zu bewerten. Der Fragebogen beinhaltet die Kontrollierbarkeit, das Bewegungsverhalten, den Realismus des Fahrzeugverhaltens, die Bewertung der Fahraufgabe „Mittiges Fahren“ und den Realismus der Aufbaubewegung des Nickverhaltens am Fahrsimulator.

Der Simulator-Sickness-Questionnaire (SSQ) Fragebogen nach Kennedy et al. [64] wird genutzt, um das körperliche Befinden des Probanden zu erfassen. Er bietet die Möglichkeit, nicht geeignete Datensätze aufgrund von Unwohlsein oder Müdigkeit zu ermitteln, um eine höhere Gültigkeit der Ergebnisse zu erhalten. Eine andere Möglichkeit bietet die Bewertung des Unwohlseins nach einem Versuch oder die Erfassung, ob ein Simulator bei Weiterentwicklung bessere Ergebnisse hinsichtlich der Validität erzielt.

2.3.3 Multiple Ressourcen Modell

Das Multiple Ressourcen Modell von Wickens [65] beschreibt, dass Prozesse gleichzeitig auf Ressourcen des Menschen zugreifen können und dass es zu einem Interferenzeffekt kommt. Die Berücksichtigung dieses Modells kann genutzt werden, um eine Nebenaufgabe für ein Untersuchungsziel in einer Studie zu designen. Ein Einkalkulieren kann zu einer höheren Validität des Ergebnisses führen.

Das Fahren eines Motorradfahrersimulators kann als eine räumliche Kodierung mit visueller Modalität klassifiziert werden. Der Proband durchläuft dabei die Zustände Wahrnehmen, Erkennen und Antworten. Die manuelle Antwort ist der Lenkimpuls. Eine Nebenaufgabe, die möglichst viele Dimensionen dieser Signalverarbeitungsschritte teilt, führt zu einer größeren Interferenz und kann somit gut zur Differenzierung eingesetzt werden [66, S. 450-451]. Die Methodik der Nebenaufgabe basiert auf der Annahme, dass die Verarbeitungsressourcen des Menschen limitiert sind. Eine Person kann nicht zwei anspruchsvolle Aufgaben gleichzeitig bearbeiten, ohne zumindest in einer eine geringere Leistung zu zeigen. Die Beobachtung der Leistungsänderung kann daher als eine Aussage über die benötigten Verarbeitungsressourcen angesehen werden und dient als operativer Hinweis für die benötigten Ressourcen der verwendeten Fahr- und Nebenaufgabe. Allerdings muss hier stets beachtet werden, dass die Methodik der Nebenaufgabe die Interferenz der beiden Aufgaben misst. Andere Nebenaufgaben können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen [67]. Wie stark zwei Aufgaben miteinander interferieren, hängt von den benötigten Fähigkeiten ab, insbesondere, ob diese ähnlich sind. Eine mögliche Herangehensweise zur Bestimmung der Ähnlichkeit könnte darin bestehen, die Beanspruchung von Ressourcen für die Fahraufgabe und Nebenaufgabe zu erfassen und den Vergleich der für die Ausführung dieser Aufgaben erforderlichen Ressourcen anzustellen. Daraufhin kann die Nebenaufgabe ausgewählt werden, die am wenigsten oder gar nicht in Konflikt mit der Fahraufgabe steht [68].

Die beschriebene Methode nach Wickens stellt für diese Arbeit eine geeignete Grundlage dar und wird in Kapitel 4.2.3 näher beschrieben.

2.4 Motorradfahrersimulation

Der erste Motorradfahrersimulator wurde im Jahr 1988 von Honda entwickelt, um die Fahrbarkeit des Simulators zu bewerten [69]. Aufbauten unterscheiden sich nach der Art des Fahrersimulators (statisch oder dynamisch), der Lenkung und dem Aufbau, der als Rundleinwand oder klassische Frontalprojektion ausgeführt werden kann. Der gewählte Aufbau kann einen direkten Einfluss auf den Erfüllungsgrad der Fahraufgabe oder auf die Leistung des Fahrers haben. Wird beispielsweise ein Fahrersimulator mit umgebender Projektion gewählt, wird das periphere Sichtfeld (sensorische Information) durch die Rollbewegung mit beeinflusst und kann zu einer unterschiedlichen Verhaltensebene führen (Abbildung 2.5). Neukum und Grattenthaler [8] berichten, dass das periphere Sichtfeld die Eigenbewegungswahrnehmung durch die erhöhte Sinneswahrnehmung verbessert, sie erwähnen aber auch, dass das Potenzial der Simulatorkrankheit steigt.

Milicic [11] schreibt, statische Fahrersimulatoren sollten eine hinreichende Untersuchungsmethode bieten, um ABK bewerten zu können. Sie weisen keine vestibuläre Rückmeldung auf und schränken damit den Einsatzbereich ein. Der Entwicklungsprozess von Fahrersimulatoren sollte zunächst als statischer Aufbau Anwendung finden, um Effekte, die die Fahraufgabe durch Interferenzen beeinflussen, zu kennen und kontrollieren zu können. Damit kann ein anknüpfendes und methodisches Vorgehen gewährleistet werden, um dem Probanden die Stimuli richtig skaliert, gefiltert oder vollständig entfernt zurückzumelden. Aufgrund der geringen Anzahl an Motorradfahrersimulatoren und der daraus resultierenden fehlenden Forschung ist die Motorradfahrersimulation weiterhin ein herausforderndes Forschungsgebiet. Werle und Diermeyer [30] beschreiben bereits, dass der Konsens in der Ausprägung des Bedienelements Lenkung fehlt und damit eine wichtige Mensch-Maschine-Schnittstelle nicht hinreichend untersucht ist. Dies ist

daran erkennbar, dass Motorradfahr simulatoren in der Lenkung grundlegend unterschiedlich aufgebaut und weiterentwickelt werden, näher beschrieben in Kapitel 2.4.2.

Popov, Rowell und Meijaard [21] schreiben auch, dass die Modellierung der Fahrdynamikmodelle eine hinreichende Güte für den Einsatz im Rahmen der Motorradfahr simulation besitzen. Sie empfehlen die Entwicklung von modernen Motorradfahr simulatoren, dabei beziehen sie sich auf eine hochwertige Ganzkuppel-Projektion, realistische Fahrzeug- sowie Umgebungsgeräusche und robuste Regelungssysteme, wie das Bedienelement Lenkung, um die Mensch-Motorrad-Schnittstelle erforschen zu können.

„Research in rider control should support and stimulate activities in the development of rider simulators, facilitate their implementation, and make possible their wide availability in the near future. Extensive validation of the available mathematical models of rider behaviour using measured human behaviour from carefully designed experiments is needed.“ Popov et al.

Diese Untersuchungsziele beziehen sich auf das Verhaltensmodell des Menschen nach Rasmussen [33], dargestellt in Abbildung 2.5 der sensorischen Informationen, dem Filtern von Merkmalen und dem Reiz-Reaktionsautomatismus bei unterschiedlichen Fahrsituationen.

2.4.1 Motorradfahr simulatoren

Tabelle 2.2 beinhaltet eine Aufzählung aller entwickelten Motorradfahr simulatoren seit 1998 bis 2022, die Nutzung einer Plattform und die verwendeten Bedienkonzepte. Mit dieser Darstellung wird der fehlende Konsens bis in die Jahre 2020 und 2021 gezeigt. Eine Erklärung der Bedienkonzepte aktiv und passiv erfolgt in Kapitel 2.4.2.

Der erste Motorradfahr simulator wurde von der Firma Honda im Jahr 1998 entwickelt. Dieser Simulator wurde für Trainingszwecke genutzt und zur Untersuchung des Schräglagen- und Neigungssinn [70]. Die Fahrtrichtungsänderung konnte entweder durch ein Neigen des Oberkörpers oder durch eine Lenkkraft erfolgen. Dabei werden diese beiden Größen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit skaliert und der Lenkwinkel berechnet passiv gestellt wird.

Die Anwendungszwecke der Motorradfahr simulatoren DESMORI, Cruden und der TU Darmstadt liegen in der Untersuchung von ABK. Werle und Diermeyer [71] nutzten den TU Darmstadt Simulator für die Untersuchung eines Anzeigekonzeptes und stellten bereits fest, dass die mentale Beanspruchung und die Fahrbarkeit des Simulators negativ bewertet wurden.

Die Simulatoren Universität Padua, Kawasaki, Motorist, Universität Paris und MUARC wurden verwendet, um den Simulator zu evaluieren oder validieren, wobei auffällig ist, dass es sich um unterschiedliche Bedienkonzepte handelt. Die Evaluierung oder Validierung erfolgt nach Methoden, beschrieben in Kapitel 2.3. Diese werden auch für die Untersuchungen in dieser Arbeit genutzt.

2.4.2 Lenkungen in der Motorradfahr simulation

Bedienelemente

Das Bedienelement Lenkung wird bei Simulatoren als menschliche Eingabe in das Fahrzeugmodell genutzt, um die Querführung in der Fahraufgabe zu erfüllen. Koch [72] untersuchte eine Steer-by-Wire-Lenkung, die eine mechanische Trennung darstellt und das Lenkgefühl anhand Aktorik simuliert. Aus einer methodischen Betrachtungsweise bestrebt diese Arbeit ein ähnliches Prinzip - die Simulation des Lenkgefühls. Koch nutzt dafür die qualitative Beschreibung, dass

Tabelle 2.2: Übersicht der vorhandenen Motorradfahr simulatoren mit Bedienkonzept und Erscheinungsjahr.

Institution	Bedienkonzept		Plattformnutzung	Erscheinungsjahr
	Kraftvorgabe- Positionsrückmeldung	Positionsvorgabe- Krafrückmeldung		
Honda	Passiv ^a	Passiv	Ja	1988
Universität Padua	Passiv	-	Nein	2006
Universität Paris	-	Aktiv ^b	Nein	2014
TU Darmstadt	-	Aktiv	Ja	2016
DESMORI (WIVW)	Aktiv	-	Ja	2017
MUARC	-	Passiv (isomorph)	Nein	2020
Cruden	Aktiv	-	Ja	2020
Kawasaki	Aktiv	-	Ja	2020
MOTORIST	-	Aktiv	Ja	2021
BMW Motorrad	Aktiv und isometrisch	-	Ja	2022

^aEin passives Bedienelement berücksichtigt keine systemeigene Rückführung sondern eine externe, vom System unabhängige Rückstellkraft (Federkraft).

^bEin aktives Bedienelement berücksichtigt die systemeigene Rückführung beispielsweise aus einem Fahrdynamikmodell.

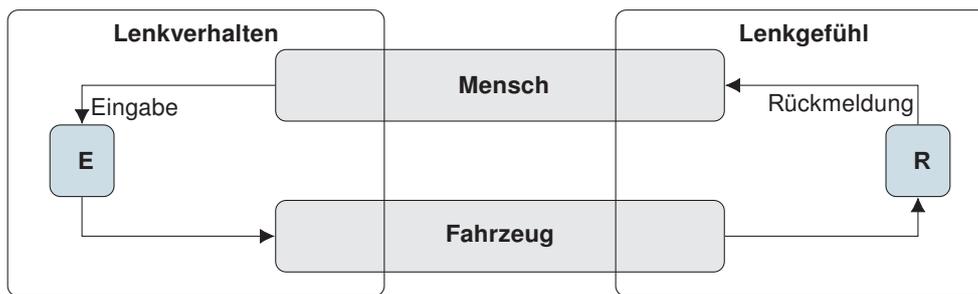
das Lenkgefühl die Fahrzeugreaktion auf das Lenkverhalten und die Rückmeldung des fahrdynamischen Zustandes wiedergibt, beschrieben in Abbildung 2.7. Für diese Anwendung nutzte Koch [72] ein sogenanntes Force-Feedback-Lenkrad, also eine Krafrückmeldung am Lenkrad. Penka [73] schreibt, dass die geringe Verbreitung einer Positionsrückmeldung gegenüber einer Krafrückmeldung aufgrund des höheren Aufwands in der Beschaffung und Implementierung liegt. Er vergleicht beide Konzepte und schlussfolgert, dass positionsrückmeldende Bedienelemente, die bei anspruchsvollen Bedienungsaufgaben zum Einsatz kommen, einen höheren finanziellen und regelungstechnischen Aufwand erfordern [73, S. 13-15].

Huang [74, S. 51-55] führte folgende Begriffspaare für Bedienelementeigenschaften ein: Kraftvorgabe/ Positionsrückmeldung, Kraftvorgabe/ isometrisch, Positionsvorgabe/ Krafrückmeldung und Positionsvorgabe/ isotonisch (Abbildung 2.7). Zusätzlich beschreibt er die isomorphe Konfiguration, weil sie passive Bedienelementeigenschaften besitzt. Er vergleicht dazu verschiedene Steuerungsarten und Bedienkonzepte für die Steer-by-Wire-Anwendung für Zweispurfahrzeuge und stellte fest, dass die Bedienkonzepte eine Geschwindigkeitsabhängigkeit besitzen. Als nicht geeignet klassifizierte er die isometrische Lenkung, weil diese ein passives Bedienelement darstellt [75].

Werle und Diermeyer [30] stellten diese Beschreibung in den Kontext der Motorradfahr simulation, weil es sich um eine simulierte Umgebung mit Bedienelementeigenschaften handelt. Zudem stellten sie fest, dass der Lenkwinkel im Rahmen der Fahr simulation eine vernachlässigbare Rückmeldung an den Fahrer liefern kann, näher beschrieben in Kapitel 2.4.2.

In Abbildung 2.6 wird das Fahrerlenkverhalten schematisch dargestellt, wobei nur eine mögliche Konfiguration beschrieben wird, die entweder als Positionsvorgabe oder Kraftvorgabe dargestellt ist. Diese Beschreibung verliert einen Grad der Gültigkeit in der Gesamtsumme, wenn die Bedienkonzepte simuliert werden müssen, wie in diesem Abschnitt beschrieben.

Bei beiden Aufzählungen zu Tabelle 2.2 der Anwendungsgebiete lässt sich feststellen, dass keine Konzeptuntersuchungen zu den Bedienelementen durchgeführt worden sind. Zudem fehlt auch eine Einordnung der Interaktionsgröße (Kraft oder Position) in die Verhaltensebene nach Rasmussen [51]. Demnach sollte zunächst eine Zuordnung der geeigneten Interaktionsgröße



Koch [72]



Werle und Diermeyer [30] nach Huang [74]

Abbildung 2.7: Schematische Darstellung der Mensch Fahrzeug Schnittstelle nach Koch mit Bedienkonzepten nach Huang und Werle und Diermeyer.

Be durchgeführt werden. Die Interaktionsgröße beschreibt, die relevanten Einflüsse auf den Menschen in der Umgebung - auch als sensorische Information bezeichnet [76, S. 12-13].

Fahrdynamische Betrachtung des Lenkwinkelverlaufs

Die fahrdynamische Modellierung hängt stark von dem Anwendungszweck oder des Untersuchungsziels ab. Cossalter et al. [20] schreiben, dass zur Abbildung der wichtigsten Eigenschaften der Motorraddynamik, nämlich Gegensteuern, Lenkerschlagen, Lenkerflattern, Schlupf der Reifen, Kippen/ Pendeln und Rollen des Fahrzeugs zwischen elf bis vierzehn Freiheitsgrade benötigt werden. Für Untersuchungen von ABK können beispielsweise Lenkerschlagen oder Schlupf vernachlässigt werden, weil diese Eigenschaften in diesem Kontext keine Relevanz besitzen. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein kommerzielles Fahrdynamikmodell verwendet, näher beschrieben in Werle und Diermeyer [30].

Die Fahrdynamik eines Einspurfahrzeugs unterscheidet sich grundlegend im Vergleich zu Zweispurfahrzeugen. Der Hauptunterschied ist der Rollwinkel. Durch diesen Freiheitsgrad wird das System instabil und erfordert dynamische Mechanismen zur Stabilisierung. Aufgrund von diesem fahrdynamischen Unterschied und der Einflüsse auf den Menschen steht die Entwicklung von Motorradfahr simulatoren vor zusätzlichen Herausforderungen.

Die dynamische Stabilisierung tritt erst durch Kreiselkräfte, auch bezeichnet als gyroskopischer Effekt, auf. Es wirken dabei sechs Momente wovon jeweils drei stabilisierend und drei destabilisierend wirken (Abbildung 2.8) [77, S. 158]. Das Fahrerlenkmoment bildet die Summe aller Momente mit umgekehrten Vorzeichen in Formel 2.1. Die einzelnen Momente τ_x resultieren jeweils aus den Formeln 2.2 bis 2.7 aufgeführten Kräften und dem dazugehörigen Hebelarm:

$$\tau = -\tau_g - \tau_z - \tau_n - \tau_s - \tau_k - \tau_G \quad (2.1)$$

- Gewichtskraft: Diese Kraft wirkt destabilisierend um die Lenkachse, der maßgebliche Einfluss ergibt sich aus der Masse und Steifigkeit der Federgabel bzw. dem Abstand des Radschwerpunkt zum Radaufstandspunkt und dem Nachlaufwinkel (Gleichung 2.2).

$$\tau_g = [(\Delta Y_{(GA)} \cdot \sin(\varepsilon) + \Delta X_{(GA)} \cdot \cos(\varepsilon)) \cdot \sin(\varphi)] \cdot g \cdot m_f \quad (2.2)$$

- Moment aus Zentrifugalkraft: Diese Kraft wirkt stabilisierend auf das Fahrzeug, vereinfacht betrachtet ist die Zentrifugalkraft und die Gierrate eine auf das Fahrzeug aufrichtend wirkende Kraft (Gleichung 2.3). Die Herleitung des Hebelarms befindet sich in Anhang A.

$$\tau_z = -m \cdot R_g \cdot \Omega^2 \cdot \text{Hebelarm} \quad (2.3)$$

- Moment aus Normalkraft: Diese Kraft wirkt destabilisierend. Das Moment ergibt sich aus der Normalkraft und dem Abstand zwischen dem Radaufstandspunkt und dem Schnittpunkt der verlängerten Lenkachse mit der Fahrbahn, siehe Gleichung 2.4.

$$\tau_n = [(\Delta Y_{pA} \sin(\delta) + \Delta X_{pA} \cos(\delta)) \cdot \sin(\varphi)] \cdot N_f \quad (2.4)$$

- Moment aus Seitenführungskraft: Sie wirkt stabilisierend auf das Fahrzeug und entgegen der Zentripetalkraft (Gleichung 2.5). Die Seitenkraft erzeugt ein Moment, das den Schräglaufwinkel verkleinert und damit zu einer Stabilisierung des Fahrzeugs führt [20, S. 12-13].

$$\tau_s = -\{\cos(\varepsilon) \cos(\varphi) [\Delta X_{pA} \cos(\delta) + \Delta Y_{pA} \sin(\delta)] + (\cos(\varepsilon) \sin(\varphi) \sin(\delta) - \sin(\varepsilon) \cos(\delta)) Z_A\} F_f \quad (2.5)$$

- Moment aus Kreiselkräften: Oder auch der gyroskopische Effekt wirkt stabilisierend auf das Fahrzeug, aufgrund der sich ausdrückenden Trägheit des drehenden Vorderrades (Gleichung 2.6). Bei einer störenden Kraft beispielsweise bei einer Lenkinteraktion wirkt eine Drehrichtungsänderung, die als Kraft wahrgenommen wird.

$$\tau_k = -(\sin(\varepsilon) \cos(\varphi) \cos(\delta) - \sin(\varphi) \sin(\delta)) I_{Wf} \omega_f \Omega \quad (2.6)$$

- Moment aus Giermoment: Das Giermoment des Vorderrades hat einen destabilisierenden Effekt. Es tritt bei einem Verdrehen der Lenkachse auf. Das Moment ist abhängig vom Nachlaufwinkel und dem Rollwinkel, siehe 2.7.

$$\tau_G = (\sin(\varepsilon) \cos(\varphi) \cos(\delta) - \sin(\varphi) \sin(\delta)) I_{Wf} \omega_f \Omega \quad (2.7)$$

Die Summe der Gleichungen beschreiben die Anteile der aufzubringenden Lenkkraft in Abhängigkeit des Fahrzeugzustandes in den Ebenen der Bahnführung und Stabilisierung. Betrachtet man eine quasistationäre Geradeausfahrt auf der Autobahn in einem höheren Geschwindigkeitsbereich wirken die dominierenden Kreiselkräfte stabilisierend auf das Fahrzeug, selbst bei typischen Kurvenradien von 500 m bis 900 m auf der Autobahn [78]. Diese Kräfte können es ermöglichen, dass der Fahrer die Fahraufgabe mit einer geringen mentalen Beanspruchung

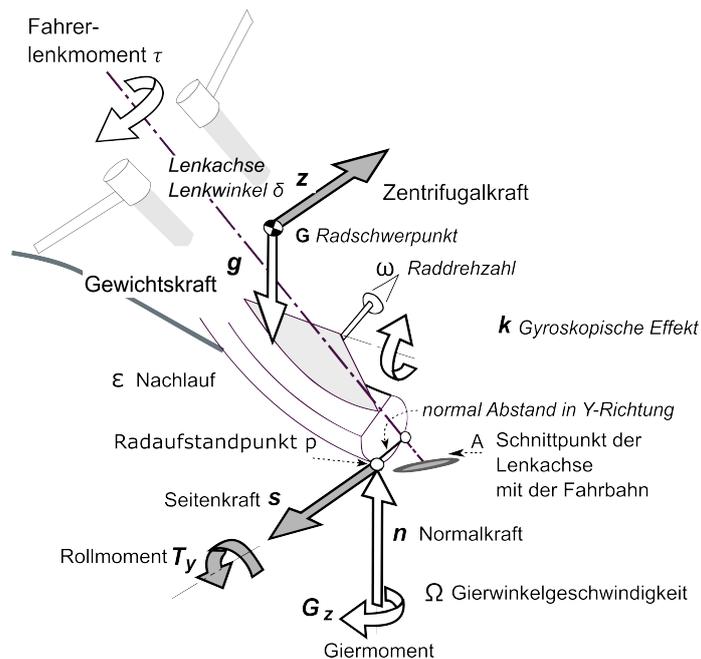


Abbildung 2.8: Angepasste Grafik mit den Bestandteilen des Fahrerlenkmoment nach Cossalter, Lot und Massaro [77, S. 150]

wahrnimmt, weil die Stabilisierung durch den Kreiseleffekt entsteht. Bei einer Kurvenfahrt oder einem Spurwechsel müssen diese Kräfte überwunden werden, um einen Lenkwinkel bzw. eine Änderung des Lenkwinkels δ zu bewirken. Vereinfacht betrachtet, beeinflussen die geplante Trajektorie, der Rollwinkel und die Geschwindigkeiten die Größe des Lenkwinkels, um die geplante Aufgabe zu erfüllen.

Unter Einbezug der Kreiselkräfte und der Zentrifugalkraft, für eine geringe Geschwindigkeit bei einer gleichmäßigen Kurvenfahrt, ist anhand Gleichung 2.6 und A.3 sowie in Abbildung 2.9 für den Rollwinkel φ zu sehen, dass bei einem $\varphi = 0^\circ$ größere Lenkwinkel auftreten können. Dieser Zustand tritt auf, weil das Motorrad aufgrund der fehlenden Zentrifugalkraft keinen Gleichgewichtszustand erreicht [77, S. 12-13]

In Abbildung 2.9 ist der beschriebene Zusammenhang für den Lenkwinkel dargestellt. Zu sehen ist, dass die Lenkwinkel bereits ab einer Geschwindigkeit von $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und einem Kurvenradius von 30 m kleiner 3° aufweisen. Damit muss der Fahrer einen geringen Lenkwinkel aufbringen, um die Kurvenfahrt einzuleiten. Zu beachten ist, dass in dieser Abbildung Werte für eine stationäre Kreisfahrt aufgeführt sind und der umkehrende Lenkwinkelverlauf (Countersteering) nicht dargestellt ist.

2.5 Ableiten der Forschungsfragen

In Kapitel 2.2.1 ist das Konzept der Belastung, Beanspruchung und Leistung eingeführt. Dieses bildet die Grundlage zur Untersuchung von Verhaltensweisen und für die Einordnung dieser in das Verhaltensmodell. Anschließend ist eine Darstellung dieser Zusammenhänge als Einfluss und Auswirkung der Kriterien durchgeführt. Diese Kriterien werden für die Untersuchungsziele in Kapitel 4 aufgegriffen und im jeweiligen Studiendesign berücksichtigt.

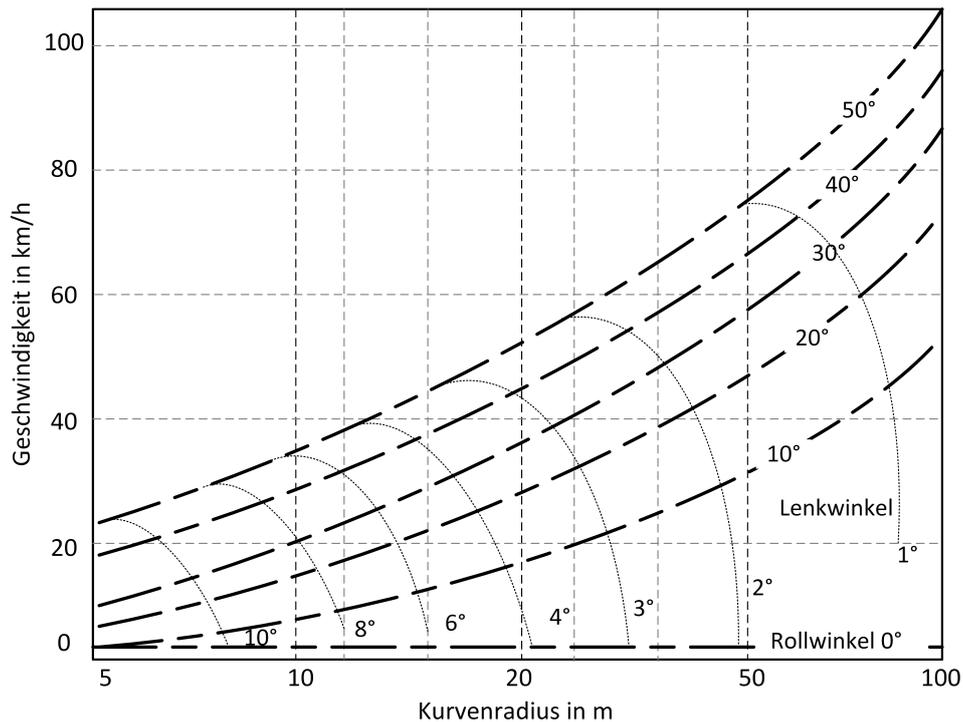


Abbildung 2.9: Angepasste Grafik mit den Zusammenhängen Lenkwinkel, Rollwinkel, Geschwindigkeit und Kurvenradius nach Cossalter, Lot und Massaro [77, S. 150]. Diese Darstellung hat keine allgemeingültige Aussage, sondern soll den geringen Lenkwinkel verdeutlichen.

Das Handlungsmodell und das dazugehörige Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten, gibt einen Überblick der Bestandteile der primären Fahraufgabe im Kontext des wissensbasierten, regelbasierten und fertigkeitbasierten Verhaltens. Für die Fahrsimulation, welche das Ziel hat, eine virtuelle Umgebung auf synthetische sensorische Informationen die Realität nachzubilden, stellt eine wichtige Komponente in der Mensch-Maschine-Betrachtung dar. Modelle und Verhaltensweisen, die in der Realität erlernt werden, sollten in der virtuellen Umgebung ausführbar sein und zum verhaltensbezogenen Ziel führen.

Den Abschluss in den Verhaltensebenen bildet das Fahrerlenkverhalten für die Führungs- und Stabilisierungsebene. Eingeführt wird die antizipatorische Steuerung und die kompensatorische Regelung für die jeweilige Ebene. Die Eingliederung der Verhaltensweisen in diesen Ebenen wird in Kapitel 2.2.2 genutzt, um die Validität vorzuschlagen. Anschließend werden die objektiven und subjektiven Messgrößen vorgeschlagen und eine Nebenaufgabe anhand des Multiple-Ressourcen-Modell abgeleitet.

Das darauffolgende Kapitel 2.4 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik und Forschung im Kontext der Motorradfahrsimulation. Es werden die Lücken darin aufgrund der fehlenden Anzahl an Simulatoren genannt und eine Empfehlung in der Fahrerbeobachtung sowie Modellierung nach Popov, Rowell und Meijaard [21] gegeben. Im Zusammenhang der Fahraufgabe und dem Verhaltensmodell nach Rasmussen [33] wird der fehlende Konsens in der Lenkinteraktion aufgezeigt. Die Begrifflichkeit des Bedienelementes sowie der möglichen Bedienkonzepte als schematische Darstellung der Mensch-Fahrzeug-Schnittstelle zeigen die synthetisierbaren Elemente Kraft- und Positionsvorgabe mit den möglichen Konfigurationen als Ein- und Ausgabe (Abbildung 2.7).

Daraus wird die erste Forschungsfrage für die Lenkinteraktion abgeleitet:

Forschungsfrage 1

Welche Lenkinteraktion führt im Rahmen der Motorradfahrsimulation zu einem regelbasierten Verhalten?

In Kapitel 1.1 ist das Ziel der ABK-Motorradfahrsimulation, als Anwendung für die Bewertung von Anzeige- und Bedienkonzepten beschrieben. Eine weitere Beschränkung bilden die vorgeschlagenen Methoden, die eine Fahraufgabe in den Szenarien klassische Autobahnfahrt oder Geradeausfahrt als Bahnführungs- und Stabilisierungsaufgabe ab einem Geschwindigkeitsbereich von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ erfordern. Die fahrdynamische Betrachtung des geringen Lenkwinkels und die Einführung der stabilisierenden Kräfte ab einem Geschwindigkeitsbereich von $20 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bilden die zweite Forschungsfrage:

Forschungsfrage 2

Stellt die Rückmeldung des Lenkwinkels eine Notwendigkeit für die Motorradfahrsimulation dar?

Die dritte Forschungsfrage stellt einen Ausblick auf die dynamische Motorradfahrsimulation dar. Diese wird mit einer isometrischen Lenkkonfiguration und der Frage gebildet, ob weitere sensorische Informationen durch eine bewegende Plattform einen positiven Einfluss auf die Fahraufgabe besitzen. In Kapitel 4.3 werden Bewegungsalgorithmen vorgestellt, technisch verglichen und in einer Studie näher untersucht, um die dritte Forschungsfrage zu bilden:

Forschungsfrage 3

Stellt die Rückmeldung des Rollwinkels anhand einer dynamischen Plattform eine Notwendigkeit dar?

3 Vorgehen

Das folgende Kapitel stellt das gewählte Vorgehen und die ausgesuchten Methoden dar, visualisiert in Abbildung 3.1. Wie darin zu sehen, ist Vorgehen A in Kapitel 4.1 beschrieben. Der Block Recherche beschreibt bekannte Methoden, im Allgemeinen zu synthetischen Bedienelementen im Kontext der Motorradfahrsimulation. Daraus abgeleitet sind die Konzepte der Kraft- oder Positionsvorgabe, die bewertet werden. Diese Bewertung bezieht sich auf die erste Forschungsfrage. Der darauffolgende Block ist eine Zusammenstellung von Bewertungsmethoden im Kontext der primären Fahraufgabe und dem Verhaltensmodell des Menschen. Im Bezugsrahmen einer bekannten Interaktion aus der Realität findet eine Schlussfolgerung statt, anhand welcher Messgrößen ein regelbasiertes Verhalten erkannt werden kann. Hinzukommend findet eine Zusammenstellung von Fahrmanövern statt, die es gilt anhand der Fahraufgaben zu erfüllen. Die Untersuchungen sind in Vor- und Hauptstudie gegliedert. In der Vorstudie wird ermittelt, ob die unterschiedliche Fahraufgabe aus ethischen Gründen vertretbar und handhabbar sind. Abschließend findet die Einordnung der Konzepte in die Verhaltensebenen und eine Empfehlung des Bedienkonzeptes statt.

Basierend auf eben genannter Empfehlung und Einordnung wird auf die schematische Darstellung in Abbildung 2.7 verwiesen. Die isometrische und positionsrückmeldende Konfiguration bildet die zweite Forschungsfrage. Aufgrund der geringen Lenkwinkel, näher beschrieben in Kapitel 2.4.2, findet eine Recherche zu menschlichen Wahrnehmungsgrenzen und zur Bewertung von Fahrverhaltensweisen statt. Der Block der Bewertungsmethoden beschreibt die Zusammenstellung bekannter Methoden zur Ermittlung eines fertigkeitsbasierten Verhaltens. Es wird eine Nebenaufgabe vorgeschlagen, die es ermöglicht, ein fertigkeitsbasiertes Verhalten zu bewerten. Darauffolgend wird eine Vor- und Hauptstudie durchgeführt, um die Ausführbarkeit zu gewährleisten. Das Ergebnis bildet die Einordnung in das Verhaltensmodell sowie eine Empfehlung zur Nutzung der untersuchten Konzepte.

Der letzte Abschnitt aus dem Gesamtvorgehen basiert auf Vorgehen A und B. Der letzte Untersuchungsabschnitt beschreibt die Herausforderungen für eine dynamisch simulierte Motorradfahrt. Da es sich bei dem Ausgangswert dieser Untersuchung um eine simulierte sensorische Rollwinkelinformation handelt, wird auf die beschriebenen Bewertungsmethoden verwiesen, die dann dem Zweck angepasst verwendet werden sollen. Die Untersuchung und Empfehlung bilden den Abschluss dieser Forschungsarbeit.

Es findet eine Erfassung der Simulatorkrankheit über alle Untersuchungen statt. Das Ziel ist es, die Entwicklung der Symptome zu erfassen, um die positive Entwicklung für die ABK-Fahrsimulation darzustellen. Die dazugehörige Diskussion ist in Kapitel 5.1 enthalten.

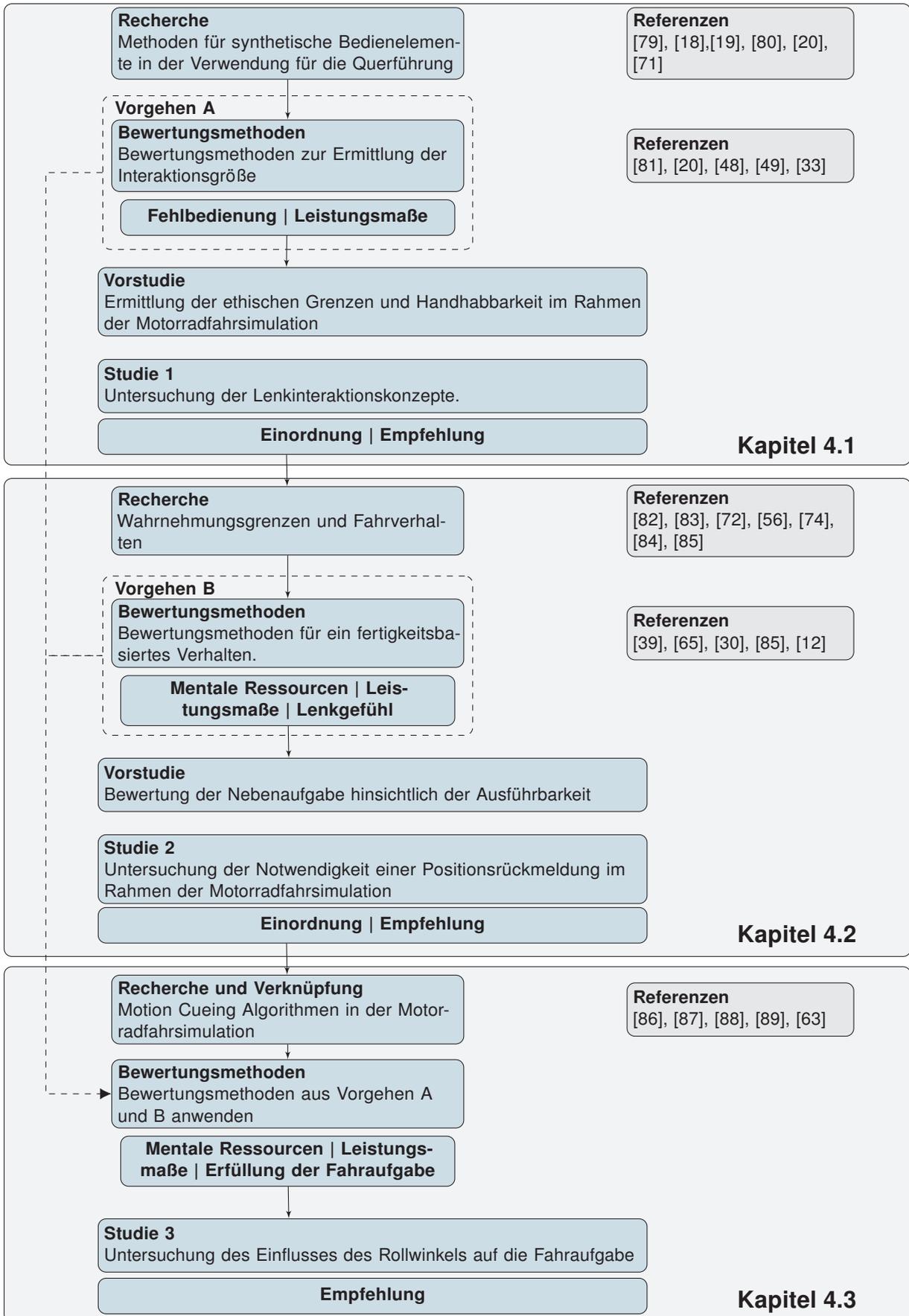


Abbildung 3.1: Gesamtverfahren für die Untersuchung einer isometrischen Lenkung.

4 Untersuchungen

Das folgende Kapitel beinhaltet die Untersuchungen zu den Forschungsfragen aus Kapitel 2.5 und der daraus abgeleiteten Vorgehensweise in Kapitel 3. Die Aufteilung der Unterkapitel erfolgt in drei Untersuchungen, aufbauend auf den Erkenntnissen der jeweiligen Voruntersuchung. Das Ziel ist es, den wesentlichen Anteil an Interaktionsgrößen und der benötigten Rückmeldungen an den Fahrer zu ermitteln, um die Fahraufgabe zu erfüllen.

In Studie 1 wird anhand einer Fahruntersuchung mit den Führungsgrößen Lenkwinkel und Lenkmoment die geeignete Interaktionsgröße für die Motorradfahrersimulation bestimmt. Anschließend erfolgt in Studie 2 die Untersuchung, ob die Rückmeldung des Lenkwinkels für die Fahrersimulation erforderlich ist. Der Anwendungsbereich des Lenkaktuators wird anhand der Regeldifferenz des Amplitudengangs unter Last und der auftretenden Torsion im virtuellen Fahrversuch bestimmt. In Studie 3 beschreibt eine Untersuchung mit dem empfohlenen Lenkkonzept zwischen einer statischen und dynamischen Plattform. Diese Untersuchung dient der Aussage, ob sich eine Plattform positiv auf die Fahraufgabe und die mentale Beanspruchung auswirkt.

4.1 Studie 1: Bestimmung der Interaktionsgröße

In dieser Untersuchung werden zwei Interaktionsgrößen zur Führung eines Einspurfahrzeugs miteinander verglichen. Der Aufbau dieser Studie unterteilt sich in Einführungs- (Reiz-Reaktions-Fahrt) und Untersuchungsfahrt (Leistungsmessfahrt). Das Ziel in der Einführungsfahrt ist kein klassisches Vertrautmachen oder Heranführen an die Fahrersimulation [90, S. 50], sondern zu beobachten, welche Reiz-Reaktions-Interaktion die Fahraufgabe erfüllt und zu weniger Reiz-Reaktions-Fehlern, auch als virtuelle Stürze beobachtbar, führt.

Anschließend wird Bezug zum wissensbasierten und regelbasierten Verhalten aus Abschnitt 2.2.2 hergestellt, um die Forschungsfrage anhand einer Zuordnung der Interaktionsgrößen in das Verhaltensmodell zu beantworten [33, S. 258] [91, S. 466].

Buschardt [39, S. 227] schreibt, dass Leistungsmaße für die Bewertung synthetischer Lenkungen nicht geeignet sind: *„Die Verwendung von Leistungsmaßen zur Bewertung synthetischer Lenkmomente hat einen wesentlichen Nachteil. Der Mensch passt sich in der Regel sehr schnell und effektiv an ein verändertes Lenkverhalten oder Gefühl an.“* Dazu empfiehlt er stattdessen die mentale Beanspruchung zu erfassen, weil der Fahrer als Kompensationsregler die Änderung ausgleicht und sich dabei die Auslastung der kognitiven Ressourcen ändert. Diese Aussage trifft auf Systeme zu, die in der Ebene des fertigkeitbasierten Verhaltens zu hinreichenden Reiz-Reaktions-Automatismen, die hier zu ermitteln sind, aufweisen. Ein Automatismus ist eine erlernte, selbstverständliche motorische Bewegung, die keiner Anstrengung des Denkens bedarf, wie das Fahrradfahren, das Gehen oder handwerkliche Fähigkeiten. [48, S. 233] [49, S. 248]. Astrom, Klein und Lennartsson [92] untersuchten das Fahrverhalten bei einer umgekehrten

Lenkung an einem Fahrrad, in dem sie ein Umlenkgetriebe in die Lenkachse einbauten. Sie beobachtete, dass das Fahren neu erlernt werden musste und die ersten Fahrversuche scheiterten. Im Laufe der Versuche nahm die Anzahl der beobachteten Fahrabbrüche ab, wohingegen die Spurhaltegüte zunahm. Unter Einbezug des Drei-Ebenen-Modells für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen kann angenommen werden, dass die Probanden das Fahren neu lernen mussten und wissensbasiert lenkten. Die Teilnehmer sammelten Erfahrungen und entwickelten die Fähigkeit, ein neues Lenkkonzept anzuwenden. Sobald diese Handlung unterbewusst ausgeführt wird kann angenommen werden, dass die Handlung auf der regelbasierten oder möglicherweise der fertigkeitbasierten Ebene ausgeführt wird [93, S. 12] [53, S. 18-20].

4.1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Zur Ermittlung der geeigneten Interaktionsgröße werden die Konzepte Kraft- und Positionsvorgabe miteinander verglichen, wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben.

Fahrsimulatoren bilden eine Schnittstelle zwischen der virtuellen Umwelt und der fahrenden Person in der Realität, bezeichnet als Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Regelkreis [94, S. 642-643]. Wie in der Realität liegt die Fahraufgabe in der meist unterbewussten, kontinuierlichen Regelung, damit das Kraftfahrzeug auf dem geplanten Kurs entlangfährt [95, S. 5-6]. Vorwiegend erhält der Fahrende die Solltrajektorie durch die visuelle Darstellung der virtuellen Welt in der Sichtsimulation. Die Erfüllung dieser Aufgabe erfordert normalerweise unsere Aufmerksamkeit, ohne, dass es zu einer Überforderung kommt [96, S. 45] [97, S. 28-29]. Werden sensorische Informationen oder motorische Aktionen verzögert oder falsch erfasst, kann es dazu führen, dass die Fahraufgabe schwer oder gar nicht erfüllbar ist.

Die Annahme ist, dass bei einer bekannten sensorischen Information die richtige Reaktion ausgeführt wird und seltener Fahrfehler auftreten (Abbildung 2.5). Dies führt dazu, dass weniger bis keine Stürze zu verzeichnen sind, die Leistungsmessfahrt besser abgeschlossen wird und die mentale Beanspruchung sowie der Fahrerzustand einen geringeren Wert aufweisen [97, S. 29-30] [98, S. 14-15]. Bei der Reiz-Reaktions-Fahrt soll anhand des Erstkontaktes ermittelt werden, mit welchem Konzept die Fahrzeugstabilisierung besser erfolgt und damit auch richtig assoziiert wird. In der Leistungsmessfahrt, nachdem die Lernphase abgeschlossen ist, soll die Spurhaltegüte, die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand ermittelt werden [28, S. 10] [99, S. 10]. Als Kontrollgröße und zur Unterstützung der Annahme, dass die Teilnehmer während der Reiz-Reaktionsfahrt ein regelbasiertes Verhalten für die falsche Lenkung erlernen, wird die Anzahl an Stürzen während der Leistungsmessfahrt erfasst. Des Weiteren leiten sich die Hypothesen in Tabelle 4.1 von den abhängigen Variablen ab.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden die unabhängigen und abhängigen Variablen in Abbildung 4.1 grafisch dargestellt. Für die Simplifizierung der Grafik sind die abhängigen Variablen austauschbar mit gestrichelten Umrandungen dargestellt, weil es sich nur um die Faktoren Kraft- und Winkelvorgabe handelt.

4.1.2 Experimentelles Design

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über das gewählte Versuchsdesign, den Aufbau der Untersuchung, die technischen Umgebung, die gewählten Untersuchungsmethoden und der Stichprobe.

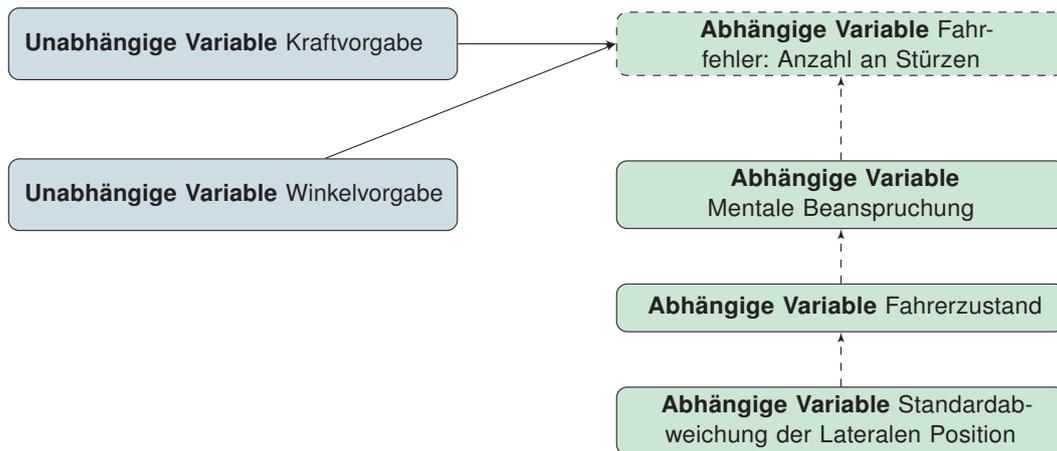


Abbildung 4.1: Simplifizierte Darstellung der unabhängigen und abhängigen Variablen ohne die störvariable Fahrerfahrung

Versuchsaufbau

Die Studie wird am Motorradfahrersimulator der BMW AG durchgeführt. Dabei handelt es sich um einen statischen Aufbau mit einer horizontalen 310° Projektion und einem Mockup der Modellklasse R 1250 GS (Abbildung 4.2). Die Verwendung der Rundumsicht reduziert Störeffekte durch die fehlende Bewegungssimulation und soll dem Probanden den fehlenden Rollwinkel visuell vermitteln [100, S. 60]. Diese Bewegungsdarstellung wird vom Fahrdynamikmodell an die Projektion übertragen. Die auf einer Positionsvorgabe basierende Lenkung, wurde aus einer vorherigen Entwicklung von Guth [80] übernommen bezeichnet als Impedanzregelung-Lenker [79, S. 3]. Die in Kapitel 2.4.2 beschriebene, auf einer Kraft basierende isometrische Lenkung, ist eine Neuentwicklung und wird im diesem Versuch als Vergleich genutzt [30, S. 6-8].



(a)



(b)

Abbildung 4.2: a) Motorradfahrersimulator innerhalb der 310° Leinwand b) konfigurierbarer Aufbau mit Isometrischer- oder Positionsrückmeldung.

Die Fahrersimulationssoftware SPIDER ist eine Eigenentwicklung der BMW AG und wird bei diesem Versuch verwendet [101]. Diese Middleware ermöglicht eine Koordination von verschiedenen Softwareanwendungen bei einer heterogenen Betriebssystemstruktur mit unterschiedlichen Computern und Softwaremodulen. Die Softwareschnittstelle zum Mess- und Lenksystem basiert auf einem CAN-Interface, mit Signalverarbeitungseinheit und einer Abtastrate von 1000 Hz, verbunden mit einem Fahrdynamikrechner innerhalb der Middlewarearchitektur [30].

4 Untersuchungen

Tabelle 4.1: Fragestellung und abgeleitete Hypothesen zur Interaktionsgröße und des Leistungsmaßes

Fragestellung und abgeleitete Hypothesen zu den Interaktionsgrößen während der Reiz-Reaktionsfahrt und dem Leistungsmaß während der Leistungsmessfahrt.	
Kodierung	Stellt die Rückmeldung des Lenkwinkels eine Notwendigkeit für die Motorradfahrsimulation dar?
H_{0A} :	Für die Reiz-Reaktionsfahrt gibt es keinen signifikanten Unterschied bei der Anzahl an Stürzen.
H_{1A} :	Für die Reiz-Reaktionsfahrt ist ein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an Stürzen vorhanden.
H_{0B} :	Für die Leistungsmessfahrt weist die mentale Beanspruchung keinen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonfigurationen auf.
H_{1B} :	Für die Leistungsmessfahrt weist die mentale Beanspruchung einen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonfigurationen auf.
H_{0C} :	Für die Leistungsmessfahrt weist der Fahrzustand keinen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonzepten auf.
H_{1C} :	Für die Leistungsmessfahrt weist der Fahrzustand einen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonfigurationen auf.
H_{0D} :	Für die Leistungsmessfahrt ^a weist die Standardabweichung der lateralen Position keinen signifikanten Unterschied auf.
H_{1D} :	Für die Leistungsmessfahrt weist die Standardabweichung der lateralen Position einen signifikanten Unterschied auf.

^aFür die Manöver: stationäre Kreisfahrt, doppelter U-Turn und Spurwechsel

Da sich der Versuch in Reiz-Reaktions-Fahrt und Leistungsmessfahrt unterteilt, werden vier verschiedene Fahrscenarien genutzt. Für die Reiz-Reaktions-Fahrt wurde eine gerade, 3 km lange, zweispurige Autobahn realisiert (Abbildung 4.2). Für die Leistungsmessfahrt wurden die Szenarien Spurwechsel, U-Turn und Kreisfahrt erstellt nach [81, S. 32-39]. Der Aufbau und die Maße der Strecken sind in Abbildung 4.3 dargestellt.

Versuchsdesign

Der Untersuchungsgegenstand liegt in der Ermittlung, welche Interaktionsgröße ein regelbasiertes Verhalten zur Führung einen Motorradfahrers hervorruft. Werle und Diermeyer [71, S. 228-231] und Guth [80, S. 68] nutzen eine auf Positionsvorgabe basierende Lenkung, die eine lange Trainingsdauer erfordert (mindestens 20 Minuten) bis die Fahraufgabe erfüllbar ist. Unter Einbezug anderer Fahrersimulatoren und der jeweiligen Trainingsdauer fällt auf, dass übliche Eingewöhnungsfahrten nur bis zu fünf Minuten dauern und von einem regelbasierten Verhalten ausgegangen werden kann [102] [103] [104] [105].

Daher soll untersucht werden, welche Interaktionsgröße bei der Reiz-Reaktionsfahrt zu weniger Fahrfehlern und einer besseren Leistung führt, um ein regelbasiertes Verhalten zu ermitteln.

Reiz-Reaktions-Fahrt

Bei dem Versuch handelt es sich um ein experimentelles Design mit Messwiederholungen, in dem alle Probanden dieselben zwei Lenkkonfigurationen in einer permutierten Abfolge erleben. Während der zehnmütigen Reiz-Reaktions-Fahrt (Trainingsfahrt) wird die Anzahl der Stürze bei einer Startgeschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ gezählt. Damit soll auf sensomotorischer Ebene - also mit weitgehend automatisierter Steuerung - die richtige Motorik zu unterbewussten Handlungsabfolgen führen, um das Fahrzeug zu stabilisieren [106, S. 228-231] [33]. Folglich

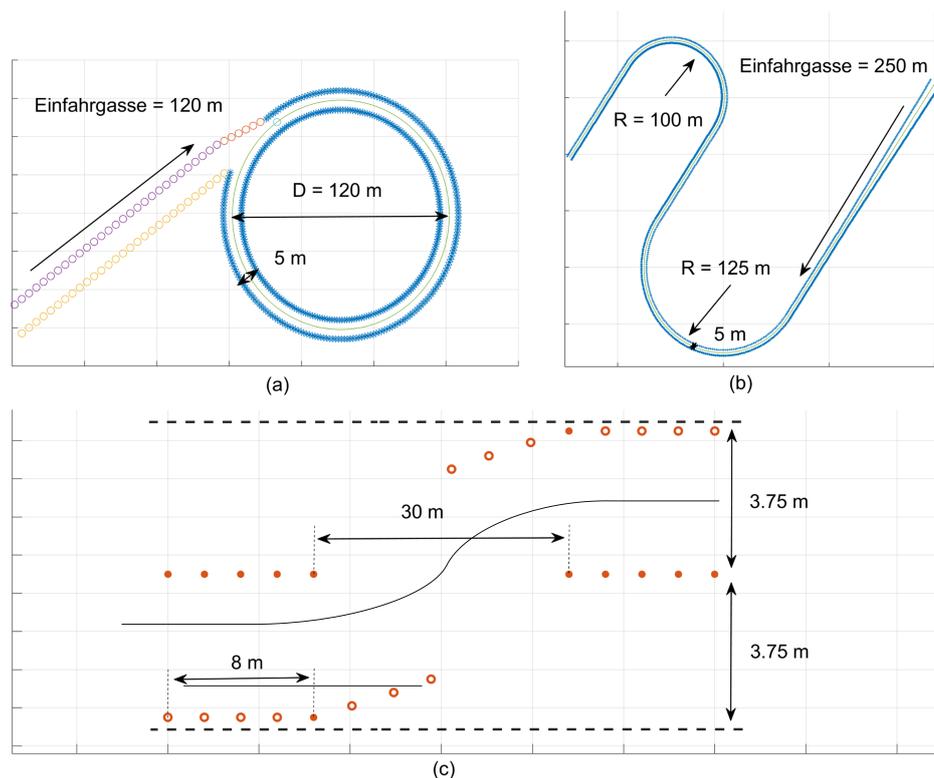


Abbildung 4.3: Fahrscenarien für die Leistungsmessfahrt a) Stationäre Kreisfahrt mit drei Umrundungen b) Doppelter U-Turn mit unterschiedlichen Radien c) Einfacher Spurwechsel.

führt eine korrekte Abfolge in Abhängigkeit der Interaktionsgröße entweder zu einem oder keinem Sturz. Damit soll bewertet werden, welche der beiden Lenkungen die geeignetere darstellt. Zu Beginn des Versuchs wird der Proband darauf hingewiesen, die Geschwindigkeit von $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ nicht zu überschreiten. Die Probanden erhalten während des zehnmütigen Versuchs keine Hinweise vom Versuchsleiter, um Versuchsleitereffekte auszuschließen [53, S. 152-153]. Es wird lediglich der Grad der Übelkeit erfragt und ob der Proband sich noch im Stande sieht, an der Studie weiter teilzunehmen.

Leistungsmessfahrt

Die Leistungsmessfahrt dient der Ermittlung der Fahrleistung. Die Permutation der Lenkkonfigurationen wird aus der Trainingsfahrt übernommen, weil keine negativen Auswirkungen aus dem Vorversuch ersichtlich sind. Die Fahrscenarien werden permutiert, um den Lerneffekt zu reduzieren [53, S. 152-153]. Die Fahraufgabe ist es, die Fahrbahn mittig zu befahren. Zur Erhöhung der Datengrundlage wird der Spurwechsel acht Mal und die Kreisfahrt drei Mal durchfahren. Aus den Vorversuchen wurde ersichtlich, dass Fahrmanöver, wie eine Slalomfahrt und die stationäre Kreisfahrt, zu einer erhöhten Übelkeit führen können. Daher wurde die Anzahl der Kreisfahrten auf drei reduziert und die Slalomfahrt entfernt.

Buschardt [39, S. 194-200] empfiehlt zur Bewertung synthetischer Lenkungen, die mentale Beanspruchung zu erfassen, weil der Mensch sich an verschiedene Lenksysteme gewöhnt und kompensiert. Daher kann es sein, dass die Leistungsmessung anhand des SDLP als nicht hinreichendes Kriterium verwendet werden kann. Zusätzlich empfehlen Pauzié und Gelau [62] die Ermittlung des Fahrerzustandes, um negative Emotionen und den Stress zu erfassen.

Abschließend wird die Simulatorkrankheit ermittelt, um Ausreißer aufgrund von Kinetose zu identifizieren und die Daten für eine Langzeitbetrachtung zu nutzen.

Material

Im nachfolgenden Abschnitt werden alle Materialien, die für den Versuch relevant waren, aufgelistet.

Demographischer Fragebogen

Der demographische Fragebogen erfasst Alter, Geschlecht, Sehbeeinträchtigung, Dauer und Art der Fahrerlaubnis (A, A2 oder A1) die gefahrenen Kilometer, jährliche Fahrleistung, hauptsächlich genutzter Motorradtyp, Fahrsimulatorerfahrung und ob jemals die Simulatorkrankheit aufgetreten ist.

Fahrer Beanspruchungsindex RALI

Zur Erfassung der mentalen Beanspruchung stehen zwei Fragebögen zur Auswahl. Zum einen der NASA TLX [107] und zum anderen eine angepasste Version des RALI-Fragebogens [62]. Hauptsächlich unterscheiden sich die Fragebögen in den Skalen und die Messgröße Fahrerzustand in den Items Stress und negative Emotionen bei der Handhabung des Fahrzeugs. Aus diesem Grund wird die Messgröße Fahrerzustand als wichtig bewertet, weil negative Emotionen bei der Handhabung beobachtet werden können. Daher wird der RALI Fragebogen verwendet.

Als problematisch betrachtet wird die Sechs-Stufen-Skala im Vergleich zur 21-Stufen-Skala beim NASA-TLX [80, S. 43]. Es besteht die Möglichkeit, dass die Sechs-Stufen-Skala nicht sensitiv genug ist, um Unterschiede in den Gruppen festzustellen. Aufgrund der erheblichen Unterschiede bei der Führung und Stabilisierung bei der Fahraufgabe geht aus dem Vorversuch die Annahme hervor, dass die Sensitivität trotz einer kleineren Skala einen signifikanten Unterschied aufweisen wird und damit die ursprüngliche Sechs-Stufen-Skala verwendet werden kann.

Simulatorkrankheit Fragebogen

Zur Erfassung der Simulatorkrankheit wird der SSQ-Fragebogen von Kennedy [64] verwendet. Die Dimensionen Magenbeschwerden und Aufstoßen finden keine Anwendung, weil getroffene Maßnahmen einer schweren Simulatorkrankheit entgegenwirken. Diese sind in Abschnitt 4.1.2 näher beschrieben.

Zur Auswertung schlagen Bimberg, Weissker und Kulik [108] die folgende Rechenvorschrift vor:

$$F = F[n] \cdot 9.54 \quad (4.1)$$

$$O = O[n] \cdot 7.58 \quad (4.2)$$

$$D = D[n] \cdot 13.92 \quad (4.3)$$

$$TS = (F[n] + O[n] + D[n]) \cdot 3.74 \quad (4.4)$$

F gibt den Grad der Übelkeit, O den Grad der Bewegungsschwierigkeit und D den Grad des Orientierungsverlustes an. TS kombiniert alle drei Werte und ermöglicht eine Bewertung der Qualität des Fahrsimulators. Dabei ist der Fahrsimulator besser zu bewerten, je niedriger der Wert ist. Folgende Einstufung ist dafür maßgebend: Vernachlässigbar (< 5), wenig ($5 - 10$), signifikant ($10 - 15$) und problematisch ($15 - 20$), bei (> 20) liegt ein sogenannter Problemsimulator vor.

Tabelle 4.2: Fragebogen nach Kennedy et al. [64] mit verwendeten, entfernten Dimensionen und Gewichtungen für die Rechenvorschrift.

Ursprüngliche Dimension	Verwendete Dimension	Entfernte Dimension	Zuordnung
Generelles Unbehagen	X		F,O
Ermüdung	X		O
Kopfschmerzen	X		O
Schwierigkeiten bei der Fokussierung	X		O
Erhöhter Speichelfluss	X		O,D
Schwitzen	X		F
Übelkeit	X		F,D
Konzentrationsschwierigkeiten	X		F,O
Eingeschränkte Aufnahmefähigkeit	X		D
Verschwommene Sicht	X		O,D
Schwindel bei offenen Augen	X		D
Schwindel bei geschlossenen Augen	X		D
Orientierungsverlust	X		D
Magen macht sich bemerkbar		X	N
Aufstoßen		X	N

Instruktion, Probandenfilter und ethische Maßnahmen

Bei Fahrertrainings oder in Fahrschulen wird auf „Drücken“ oder „Impulslenken“ hingewiesen, um eine Kurvenfahrt oder einen Spurwechsel zu initiieren [109] [110]. Trotz dieser umgangssprachlichen aber gängigen Bemerkung, wurden die Probanden bewusst mit diesen Ausdrücken instruiert. Zusätzlich wurde darauf hingewiesen, dass die Simulationsfahrt mit einer Geschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ beginnt.

Das Auftreten der Simulatorkrankheit, kann zu Ausfällen und der damit einhergehenden Wiederholung eines Versuchs führen. Um diese Art der Ausfälle zu reduzieren, schlagen Neukum und Grattenthaler [S. 45-46] [8] vor, Personen die empfindlich gegenüber den Fragestellungen eins - fünf sind, aus Versuchen auszuschließen, um die Ausfallrate bei Fahrsimulatorstudien zu reduzieren. Diese Fragen wurden im Einladungstext hinterlegt und zur Beantwortung verschickt. Bei einer zustimmenden Antwort wurde der Proband aus dem Versuch ausgeladen.

- 1 Bei der Mitfahrt in einem Pkw während meiner Kindheit wurde mir schon einmal übel.
- 2 Bei der Mitfahrt auf dem Rücksitz eines Pkw wurde mir schon einmal übel.
- 3 Mir wurde schon einmal übel, als ich ein Buch während einer Autofahrt gelesen habe.
- 4 Mir wurde schon einmal übel, als ich im Zug entgegen der Fahrtrichtung saß.
- 5 Mir wurde schon einmal übel, als ich Passagier auf einem Boot oder Fähre war.

Aufgrund einer vorhandenen Datenbank und Metadaten mit mehr als 10000 Probanden, war es möglich, Probanden mit weniger als 10000 km Fahrerfahrung herauszufiltern. Diese Begründung ergibt sich aus dem Ziel der Untersuchung, welche Lenkinteraktion zu einem regelbasierten Verhalten führt. Damit ist die Fahrerfahrung eine Störgröße, die in dieser Untersuchung kontrolliert werden muss.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf unterteilt sich in vier verschiedene Teilabschnitte (Abbildung 4.4). Der Zeitraum des Versuchs erstreckt sich auf vier Wochen, die Versuchsdauer je Ablauf beträgt ca. 90 Minuten. Im Abschnitt Begrüßung und Einführung werden die Teilnehmer über den Versuchsablauf und Möglichkeit eines Versuchsabbruchs instruiert. Außerdem die Einwilligungs- sowie Datenschutzerklärung durch den Teilnehmenden unterschrieben. Anschließend wird der demografische Fragebogen beantwortet, um Erkenntnisse über die Zielgruppe und die Teilnehmer zu erhalten. Der SSQ-Fragebogen dient der Erfassung des aktuellen Gemütszustandes und dauert ungefähr 20 Minuten. Damit ist es möglich, Teilnehmer aus der Auswertung auszuschließen, die bereits vor dem Versuch Symptome aufweisen. Die Reiz-Reaktions-Fahrt beginnt abhängig von der Permutationsreihenfolge mit einer Kraft- oder Positionsvergabe. Ziel des Versuchsablaufes ist es, die geeignete Interaktionsgröße anhand der Anzahl an Stürzen bei einem Erstkontakt zu ermitteln. Er ist in verschiedenen Teilabschnitte unterteilt (Abbildung 4.4).

Der experimentelle Abschnitt beginnt mit einer Geschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und der Aufforderung diese auf mindestens $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu erhöhen, aber nicht schneller als $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu fahren. Damit übernimmt der Teilnehmer die vollständige Fahraufgabe zur Längs- als auch Querführung. Die zweispurige Fahrbahn ist 5 km lang und enthält jeweils zwei 180° Kurven, wobei der Start auf dem geradlinigen Teil erfolgt und die Fahrt exakt nach zehn Minuten beendet wird. Die Leistungsmessfahrt erfolgt einzeln für die in Kapitel 4.1.2 näher beschriebenen Manöver. Aufgrund der vermuteten erhöhten Beanspruchung sowie der damit einhergehenden Kinetose durch Stürze, wird auf die Regelung der Längsführung verzichtet und eine stationäre Geschwindigkeit anhand eines Tempomaten mit $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ vorgegeben. Die Versuchsdauer beträgt ungefähr 15 Minuten. Die nachfolgenden zwei Abschnitte sind vom Ablauf identisch und unterscheiden sich nur in der Konfiguration der Lenkung. Den Abschluss bilden die Abschlussbefragung, Anmerkungen zum Versuch und eine Aufklärung über den Versuchsinhalt.

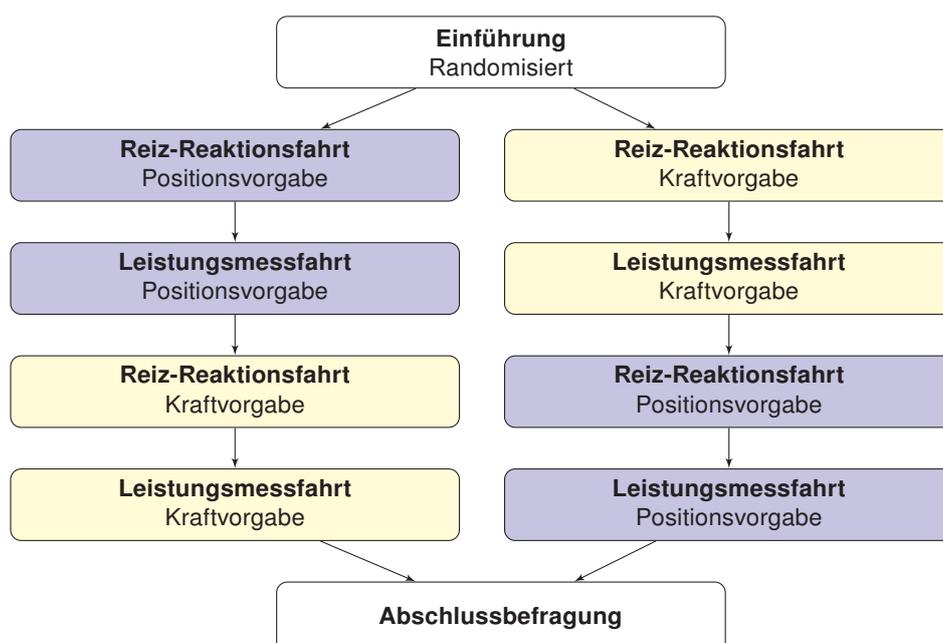


Abbildung 4.4: Versuchsablauf der ersten Studie zur Ermittlung der Interaktionsgröße unterteilt in Reiz-Reaktionsfahrt und der Leistungsmessfahrt.

Tabelle 4.3: GPower Tabelle

Effektstärke ρ	α -Fehler	Teststärke $1-\beta$	Empfohlene Datensätze
0.5	0.05	0.8	21

Probandenkollektiv

Für die Untersuchung werden ausschließlich Probanden mit einem gültigen Motorradführerschein Klasse A oder A1 eingeladen, um die Validität der Untersuchung zu gewährleisten. Zusätzlich wird während der Rekrutierung darauf hingewiesen, dass nur aktive Motorradfahrer mit einer jährlichen Fahrleistung von mindestens 3000 km teilnehmen dürfen. Um statistische Effekte anhand Querschnittstudien nachzuweisen, empfiehlt Nielsen [111] eine Stichprobe mit 20 Probanden. Auch Knapp [S. 14] [112] empfiehlt 20 gültige Datensätze für eine Auswertung mit statistischer Validität. Der Gesamtumfang der Stichprobe für diese Untersuchung errechnet sich anhand des Tools G-Power [113]. Der Zweistichproben *t-Test* wird als Hypothesentest angenommen, weil für die in Tabelle 4.1 dargestellte SDLP der Leistungsmessfahrt eine Normalverteilung anzunehmen ist [114].

Infolge von kurzfristigen Absagen und einer Studienabbruchquote von 13 % bis 25 %, werden 40 Probanden eingeladen, woraus sich eine Zielstichprobe von 32 Teilnehmern ergeben soll [71]. Durch eine vorsorglich ausreichende Anzahl an eingeladenen Probanden, soll damit die statistische Validität sichergestellt werden. Tabelle 4.3 enthält die Eingangsparameter zur Schätzung der empfohlenen Datensätze. Die Effektstärke ρ wird mit 0.5 angegeben, die Vermutung ist, dass das erlernte a priori Wissen aus der Realität den wiederkehrenden Handlungsablauf als Automatismus hervorruft [S. 1-2] [115]. Zudem gab es in den Voruntersuchungen die Beobachtung, dass die Kraftvorgabe einen positiven Einfluss auf die Fahraufgabe hat. Das Signifikanzniveau α -Fehler wird mit 0.005 gewählt, weil das Datenvolumen sich dafür anbietet und die Konvention es zulässt [116]. Aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeit von α und β sowie der konventionell fixierten Teststärke auf 0.8 ergibt sich ein empfohlener Datensatz von 21 Personen [116] [S. 808-809] [117].

Alle Teilnehmer sind Arbeitnehmer der BMW AG ohne Erfahrung mit Motorradfahrersimulatoren. Das durchschnittliche Alter der Versuchsteilnehmer beträgt 39 Jahre ($\sigma = 13.3$ Jahre). Der jüngste Teilnehmer ist 22 und der älteste 58 Jahre alt. Das Geschlecht aller Teilnehmer ist männlich, es wurde keine Geschlechterverteilung angestrebt, weil der Anteil an weiblichen Motorradfahrern in Deutschland im Jahr 2011 bei 13.7% und im Jahr 2018 bei 9.9% lag [118] [119]. Zudem handelt es sich um eine Untersuchung des menschlichen Verhalten, das geschlechtsabhängig sein kann.

Die Verteilung der Motorradfahrerfahrung ist wie folgt: 10 Personen haben mehr als 50000 km, 5 Personen 30000 - 50000 km, 5 Personen 20000 - 30000 km, 3 Personen 15000 - 20000 km und 2 Personen weniger als 10000 km Fahrerfahrung.

4.1.3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus Kapitel 4.1 vorgestellt, die Aufbereitung der Datensätze erfolgte in Matlab mit den darauffolgenden statistischen Untersuchungen anhand SPSS. Für alle Datensätze wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ gewählt. Die Ergebnisse gliedern sich nach dem Aufbau der Studie.

Zu Beginn wird die Reiz-Reaktionsfahrt anhand des Mediantests ausgewertet. Dieser eignet sich für quantitative oder ordinal skalierte Merkmale, wobei Letzteres auf diese Untersuchung zutrifft [S. 222-223] [120]. Die Versuche wurden von insgesamt 25 Personen erfolgreich durchgeführt, wobei alle Probanden Schwierigkeiten hatte, die primäre Fahraufgabe mit der Positionsvorgabe sofort zu erfüllen. Eine fehlerfreie Durchführung bedeutet, dass es über einen Zeitraum von zehn Minuten zu keinem Sturz kam.

Für die Leistungsmessfahrt wird entweder der t-Test für verbundene Stichproben, wenn die Voraussetzungen es zulassen, oder als Alternative der Wilcoxon-Test angewandt. Die Voraussetzungen für eine Gültigkeit bei einem Within-Subject-Design sind, dass dieselben Personen alle experimentellen Bedingungen absolviert haben. Ein weiterer Grund für den Test einer verbundenen Stichprobe ist, dass das falsche Lenksystem, also das zu erlernende Verhalten, sich auf das richtige Lenksystem auswirken kann, weil die negativen Begleiterscheinungen der Kinetose die Leistungsfähigkeit der Teilnehmenden beeinflussen. Hinzukommt, dass der unabhängige und abhängige Test zu den gleichen p Ergebnissen führen, sich aber in der Prüfgröße unterscheiden können, die keine Relevanz für diese Untersuchung hat [121].

Die Leistungsmessfahrt besteht aus den Fahrscenarien stationäre Kreisfahrt, einfacher achtfacher Spurwechsel und einem doppelten U-Turn. Die ausgewerteten Merkmale sind mentale Beanspruchung, Fahrerzustand und SDLP mit Median und Mittelwert.

Reiz- und Reaktionsfahrt

Neben der Anzahl der Stürze wurde beobachtet, dass die Teilnehmer Schwierigkeiten hatten, die primäre Fahraufgabe mit der Lenkkonfiguration Positionsvorgabe sofort zu erfüllen. Wobei eine Auswertung der Erfüllung der primären Fahraufgabe lediglich für die Querführung durchgeführt wurde [122].

In Abbildung 4.5 werden die Anzahl der Stürze als Boxplot dargestellt. Für den Lesefluss werden die Indizes KV Kraftvorgabe und PV Positionsvorgabe verwendet. Die durchschnittliche Anzahl an Stürzen beträgt $\bar{X}_{KV} = 0.4$ mit einer Standardabweichung von $\sigma = 0.5$ und einem Median von $\tilde{X}_{KV} = 0$. Die Whisker liegen jeweils gleichauf mit dem Quartil bei 0 und 1.

Die Positionsvorgabe hat einen Mittelwert von $\bar{X}_{PV} = 4.16$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{PV} = 3.34$ und einem Median von $\tilde{X}_{PV} = 4.16$. Zu sehen ist bei der Positionsvorgabe, dass die Anzahl an Stürzen bei der Hälfte der Teilnehmer bei 4 oder mehr liegt. Auch die Spannweite ist im Vergleich zur Kraftvorgabe um den Faktor 15 größer.

Der Mediantest betrachtet den Median und die exakte Abweichung mit 50 % Wahrscheinlichkeit. Dieser nichtparametrische Test stellt für diesen Medianvergleich eine signifikant höhere Anzahl an Stürzen für die Positionsvorgabe fest ($n = 25$, $p = 0.001$). Folglich wird die Nullhypothese $H0_A$ verworfen und die Alternativhypothese $H1_A$ angenommen.

Leistungsmessfahrt

Während der Leistungsmessfahrt wird die Positionsabweichung erfasst, um die Spurhaltegüte der Lenkkonzepte zu bewerten [28]. In diesem Abschnitt wird die Güte der Fahrmanöver Spurwechsel, stationäre Kreisfahrt und U-Turn gezeigt. Zusätzlich, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, wird die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand dargestellt. Abschließend werden die Anzahl der Stürze bei einem vermutlich erlernten, regelbasierten Verhalten gezeigt und die

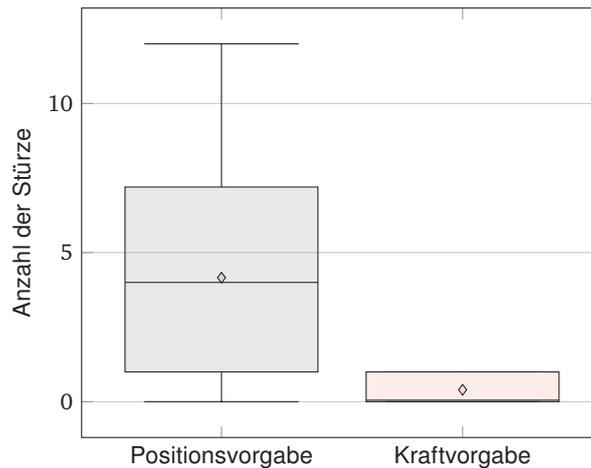


Abbildung 4.5: Anzahl der Stürze beim Erstkontakt mit den Lenkkonfigurationen.

Tabelle 4.4: Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für den Spurwechsel.

Spurwechsel	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X} m	Standardabweichung σ m	Median \tilde{X} m	Unteren Whisker m	Oberen Whisker m
	Positionsvorgabe	1.5	0.95	1.3	0.45	2.8
	Kraftvorgabe	1.15	1.09	0.8	0.25	2.4

Notwendigkeit der Trennung in Reiz- Reaktionsfahrt und Leitungsmessfahrt in Kapitel 4.1.4 diskutiert.

Spurwechsel

In Abbildung 4.6 und Tabelle 4.4 sind die Verteilungen der Standardabweichung der lateralen Position für beide Interaktionen dargestellt.

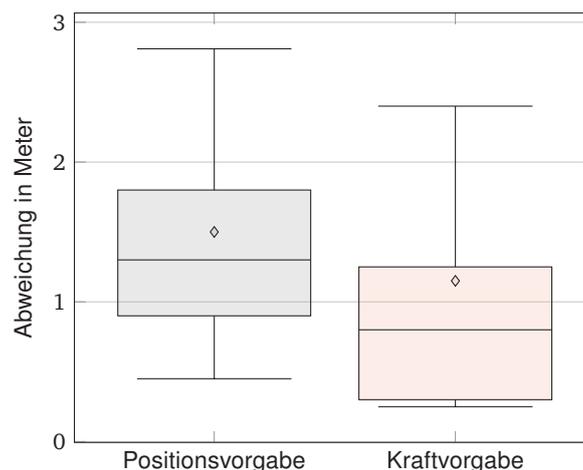


Abbildung 4.6: SDLP Performance für den Spurwechsel mit den Interaktionen Lenkwinkel und Lenkmoment.

Für die statistische Untersuchung wurden die Datensätze anhand des Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Der Test ergab für die Positionsvorgabe $p_{PV} = 0.001$ und für die Kraftvorgabe $p_{KV} = 0.000$, damit sind beide Interaktionsgrößen nicht normalverteilt. Der nicht-parametrische Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben wurde gewählt, der Test ergab eine

Tabelle 4.5: Kumulierte Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für die stationäre Kreisfahrt.

Stationäre Kreisfahrt	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X} m	Standardabweichung σ m	Median \tilde{X} m	Unteren Whisker m	Oberen Whisker m
	Positionsvorgabe	2.91	1.22	2.63	2.11	3.13
	Kraftvorgabe	2.18	0.37	2.11	1.89	2.29

Signifikanz von $p = 0.026$. Damit wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese angenommen.

Stationäre Kreisfahrt

Die statistische Untersuchung für die stationäre Kreisfahrt wurde kumuliert durchgeführt. Dennoch wird eine separate Darstellung der Umrundungen in Abbildung 4.7 gezeigt, um den Einfluss der Konzepte zu verdeutlichen. Zudem ist zu beachten, dass nur 19 vergleichbare Datensätze für die statistische Auswertung genutzt werden konnten, weil es zu Ausfällen bei dem Konzept Positionsvorgabe kam. Der kumulierte Datensatz ist in Tabelle 4.5 enthalten.

Für den Datensatz Positionsvorgabe ergab der Shapiro-Wilk-Test ein $p_{PV} = 0.001$ für die Kraftvorgabe $p_{KV} = 0.028$. Damit sind beide Datensätze nicht normalverteilt, und der nichtparametrische Wilcoxon-Test wird gewählt. Dieser ergab ein $p_{PV} = 0.004$, damit liegt Signifikanz vor und die Nullhypothese wird abgelehnt.

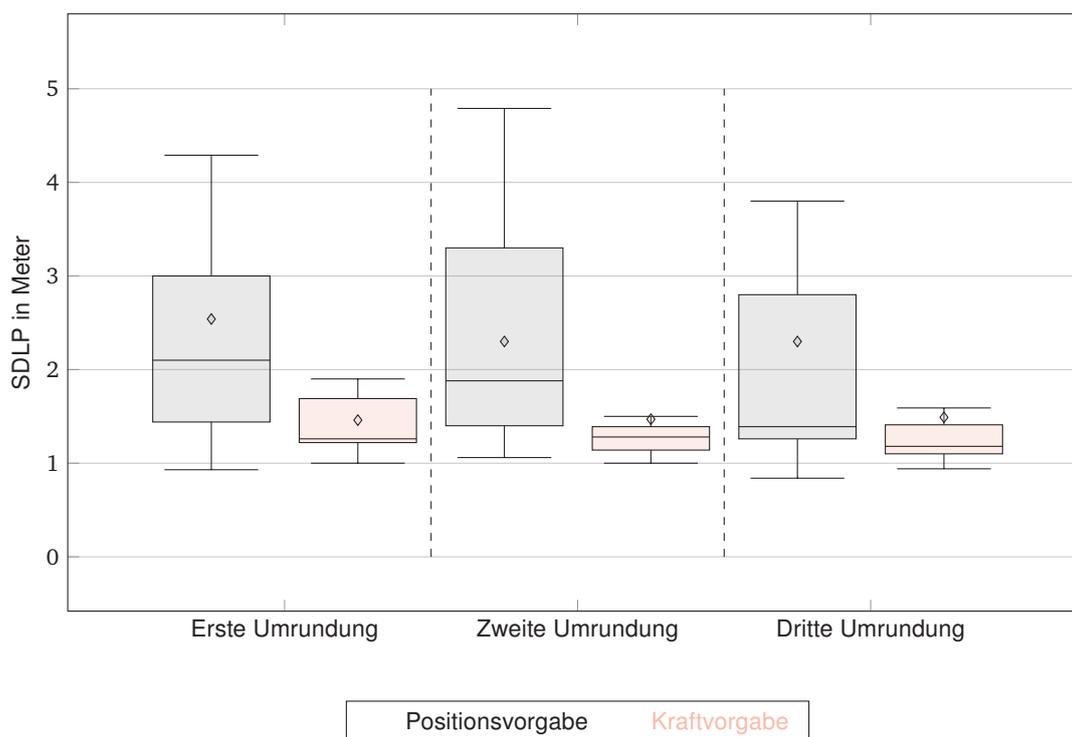


Abbildung 4.7: SDLP Performance für die stationäre Kreisfahrt für einzelne Umrundungen in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.

In Tabelle 4.6 ist die Anzahl an erfolgreichen Umrundungen enthalten. Zu sehen ist, dass bei beiden Konzepten die erfolgreichen Durchfahrten sinken, bei der Positionsvorgabe reduzieren sich diese von 20 auf 10 bei einer erfolgreichen Umrundung. Bei der Kraftvorgabe von 25 auf 19 erfolgreichen Umrundungen.

Tabelle 4.6: Anzahl erfolgreich durchgeführter Manöver und die durchschnittliche Anzahl an Stürzen.

Interaktionsgröße	Erfolgreiche erste Umrundung	Erfolgreiche zweite Umrundung	Erfolgreiche dritte Umrundung
Positionsvorgabe	20	15	10
Kraftvorgabe	25	21	19

Tabelle 4.7: Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für den doppelten U-Turn.

U-Turn	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X} m	Standardabweichung σ m	Median \tilde{X} m	Unteren Whisker m	Oberen Whisker m
1	Positionsvorgabe	2.19	1.75	1.58	1.17	2.47
	Kraftvorgabe	1.48	0.98	1.23	1.10	1.43
2	Positionsvorgabe	3.66	2.65	2.44	1.98	4.32
	Kraftvorgabe	2.27	1.64	1.72	1.54	2.07

Doppelter U-Turn

In Abbildung 4.8 sind die SDLP für beide U-Turn-Kurven abgebildet, die erste mit einem Radius von 100 m und die zweite mit 125 m. Die statistische Untersuchung wird separiert durchgeführt aufgrund der unterschiedlich gewählten Radien. Zu beachten ist, dass für die zweite U-Turn-Kurve nur neun gültige Datensätze vorliegen.

Der Shapiro-Wilk-Test ergibt für die erste U-Turn Kurve eine Signifikanz von $p_{PV} = 0.000$ $p_{KV} = 0.000$. Für die zweite U-Turn Kurve ergibt der Test auf Normalverteilung eine Signifikanz von $p_{PV} = 0.004$ und $p_{KV} = 0.000$. Die Datensätze sind nicht normalverteilt, damit wird der nichtparametrische Wilconxon-Test gewählt.

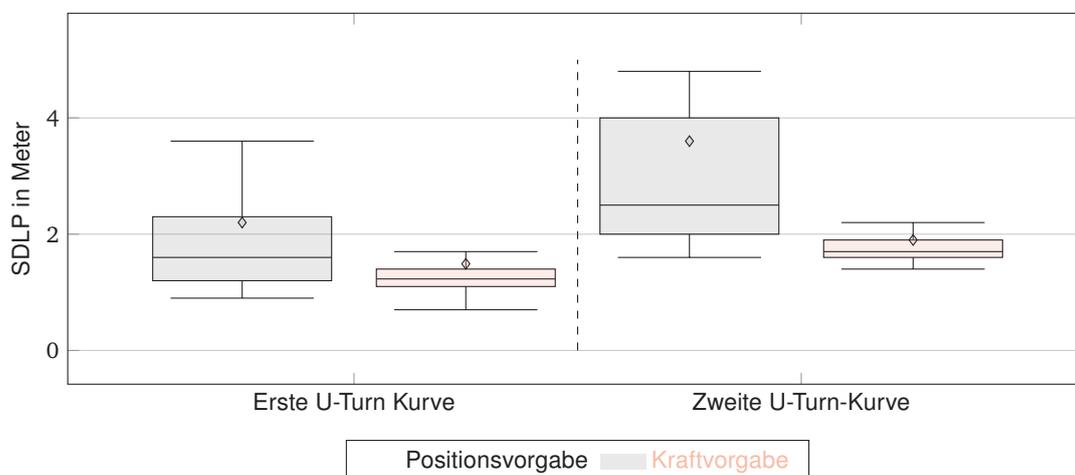


Abbildung 4.8: SDLP Performance für den U-Turn in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.

Für die erste U-Turn Kurve ergibt die statistische Untersuchung mit dem Wilconxon-Test einen Wert von $p_{KV} = 0.019$, damit ist der Datensatz signifikant unterschiedlich, die Nullhypothese wird angenommen. Für die zweite U-Turn Kurve ergibt die statistische Untersuchung mit dem Wilconxon-Test einen Wert von $p_{KV} = 0.17$. Damit ist der Datensatz nicht signifikant unterschiedlich, die Nullhypothese wird angenommen.

Rider Activity Load Index

In diesem Abschnitt wird die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand für die Interaktionsgrößen ermittelt. Die Daten wurden nach einer gesamthaften Durchfahrt eines Konzeptes erhoben. Die Auswertung erfolgt für jedes Item separat von links nach rechts, (Abbildung 4.9).

Für die statistische Auswertung soll eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen durchgeführt werden.

Item: Aufwand an Aufmerksamkeit Tabelle 4.8 beinhaltet die Verteilung für das Item Aufwand an Aufmerksamkeit.

Tabelle 4.8: Item Aufwand an Aufmerksamkeit aus dem RALI Fragebogen.

Aufwand an Aufmerksamkeit	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Positionsvorgabe	4.36	0.81	5.0	4.0	5.0
	Kraftvorgabe	3.68	1.14	4.0	3.0	4.45

Zunächst werden die Datensätze auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Test geprüft. Beide der Daten sind signifikant somit nicht normalverteilt $p_{PV} = 0.002$ und $p_{KV} = 0.000$, folglich wird der Wilcoxon-Test gewählt. Die Voraussetzungen dafür sind ordinalskalierte abhängige Variable und eine abhängige Messung, die erfüllt sind [123, S. 393] [124, S. 152]. Dieser Test ermittelte für die Datensätze einen signifikanten Unterschied ($p = 0.009, N = 25$).

Item: Aufwand zur Situationsbewältigung Tabelle 4.9 beinhaltet die Verteilung für das Item Aufwand zur Situationsbewältigung.

Tabelle 4.9: Item Aufwand zur Situationsbewältigung aus dem RALI Fragebogen.

Aufwand zur Situationsbewältigung	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Positionsvorgabe	3.4	1.2	3.0	3.0	4.0
	Kraftvorgabe	2.64	1.2	3.0	2.0	3.5

Zunächst werden die Datensätze auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests geprüft. Beide Daten sind signifikant $p_{PV} = 0.017$ und $p_{KV} = 0.115$, folglich wird der Wilcoxon-Test gewählt. Die Voraussetzungen dafür sind ordinalskalierte Daten und eine abhängige Stichprobe. Diese sind erfüllt [123, S. 393] [124, S. 152]. Dieser Test ermittelte für die Datensätze einen signifikanten Unterschied ($p = 0.004, N = 25$).

Item: Situationsbedingter Stress Tabelle 4.10 beinhaltet die Verteilung für das Item situationsbedingter Stress.

Tabelle 4.10: Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.

Situationsbedingter Stress	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Positionsvorgabe	3.3	1.25	3.0	2.5	4.0
	Kraftvorgabe	2.44	1.38	2.0	1.0	4.0

Zunächst werden die Datensätze auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests geprüft. Beide Daten sind signifikant $p_{PV} = 0.024$ und $p_{KV} = 0.107$, folglich wird der Wilcoxon-Test gewählt. Die Voraussetzungen dafür sind ordinalskalierte Daten und eine abhängige Stichprobe. Diese sind erfüllt [123, S. 393] [124, S. 152]. Dieser Test ermittelt für die Datensätze einen signifikanten Unterschied ($p = 0.001, N = 25$).

Item: Anteil an negativen Emotionen Tabelle 4.11 beinhaltet die Verteilung für das Item Anteil an negativen Emotionen.

Tabelle 4.11: Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.

Anteil an negativen Emotionen	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Positionsvorgabe	2.36	1.57	3.0	1.0	3.0
	Kraftvorgabe	1.68	1.37	2.0	0.0	3.0

Zunächst werden die Datensätze auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Test geprüft. Beide der Daten sind signifikant $p_{PV} = 0.024$ und $p_{KV} = 0.107$, folglich wird der Wilcoxon-Test gewählt. Die Voraussetzungen dafür sind ordinalskalierte Daten und eine abhängige Stichprobe. Diese sind erfüllt [123, S. 393] [124, S. 152]. Dieser Test ermittelte für die Datensätze einen signifikanten Unterschied ($p = 0.007, N = 25$).

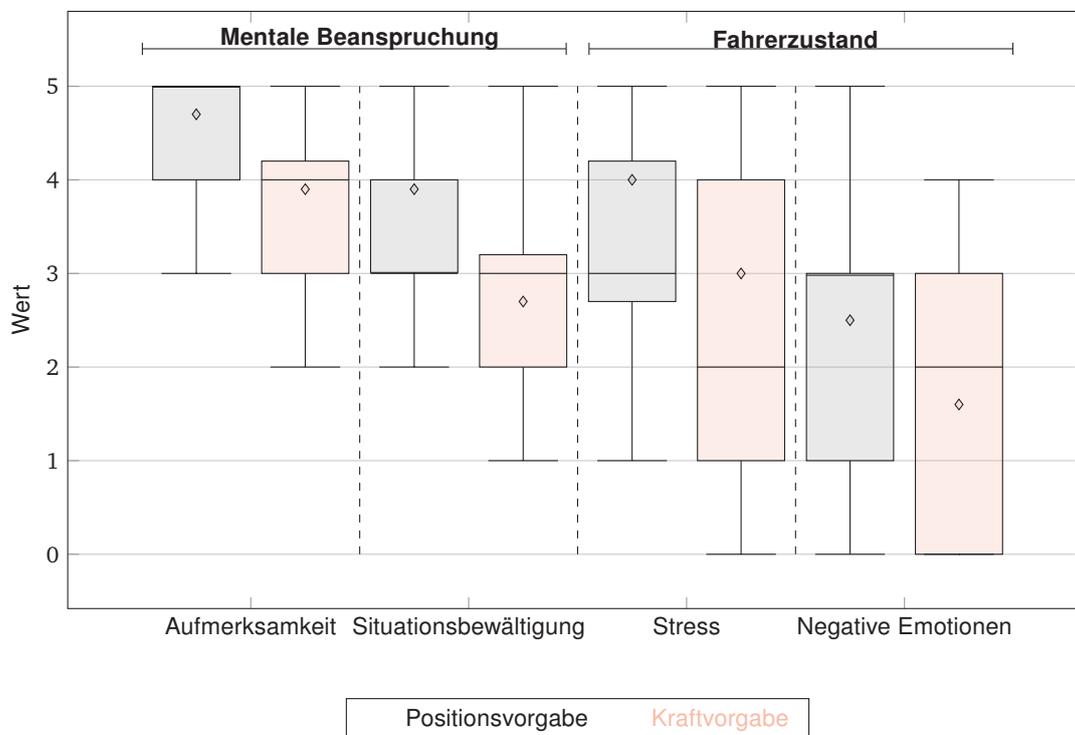


Abbildung 4.9: Mentale Beanspruchung und Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.

Abschließend wird die Anzahl an erfolgreich durchgeführten Manövern und die durchschnittliche Anzahl an Stürzen in Tabelle 4.12 gezeigt. Das Ziel ist es zu zeigen, dass Probanden nach einer Trainingsphase in der Lage sind, gegensätzliche Bedienkonzepte zu verwenden. Damit soll die Relevanz der Reiz-Reaktionsfahrt aufgezeigt werden. Zudem ist zu beachten, dass sich die Anzahl an ausgewerteten Datensätzen im Vergleich zu den erfolgreich durchgeführten Manövern unterscheiden kann. Der Grund dafür ist, dass Ausfälle in beiden Konzepten, jedoch nicht für denselben Probanden, auftreten können.

Tabelle 4.12: Anzahl erfolgreich durchgeführter Manöver und die durchschnittliche Anzahl an Stürzen.

Interaktionsgröße	Spurwechsel	Kreisfahrt	Geradeausfahrt	U-Turn
Positionsvorgabe	25 / $\emptyset 0.4$	20 / $\emptyset 1.6$	25 / $\emptyset 0.1$	25 / $\emptyset 0.96$
Kraftvorgabe	25 / $\emptyset 0.4$	24 / $\emptyset 0.5$	25 / $\emptyset 0.0$	25 / $\emptyset 0.2$

Fragebogen zur Simulatorkrankheit

Die Auswertung des SSQ bezweckt für weitere Studien eine langfristige Beobachtung des Verlaufs. Die endgültige Auswertung wird in Kapitel 5 durchgeführt und diskutiert. Zudem sollen mit dieser Methode Probanden identifiziert werden, die bereits mit Beschwerden den Versuch begonnen haben. Die Werte des SSQ sind in Tabelle 4.13 dargestellt, es wird auf eine Verteilungsdarstellung verzichtet. In dieser Untersuchung gab es keinen Probanden, der bereits mit auffälligen Symptomen den Versuch begonnen hat.

Tabelle 4.13: Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen.

	Übelkeit	Okulomotorik	Desorientierung	Gesamtscore
Median	19.08	15.16	13.92	18.7
Mittelwert	23.69	15.94	26.96	22.75
Standardabweichung	23.21	15.62	26.41	22.29

4.1.4 Diskussion

Diese Untersuchung wird in zwei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt wird die Wiedererkennung einer synthetischen Lenkung für eines der beiden Konzepte in Kapitel 2.4.2 beschrieben. Dazu wird die Beobachtung, ob sensomotorische, aus der Realität erlernte Fähigkeiten, richtig angewandt werden, verwendet. Wie Buschardt [39, S. 227] bereits beschreibt, wird vermutet, dass Probanden falsche Konzepte in kurzer Zeit erlernen und damit ein regelbasiertes Verhalten entwickeln, jedoch eine erhöhte mentale Beanspruchung aufweisen und es häufiger zu Reiz-Reaktionsfehlern kommt.

Der zweite Abschnitt dient der Bewertung des Leistungsmaßes, ob Unterschiede in der alten und neuen sensomotorischen Fähigkeit vorliegen. Aus der Kombination der Betrachtungen wird anschließend eine Empfehlung für zukünftige Lenkkonzepte gegeben.

Zu Beginn wird die Studie kritisch betrachtet, um die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse verständlich zu machen. Das Probandenkollektiv in dieser Untersuchung besteht zu 100 % aus männlichen Teilnehmern. Trotz des Untersuchungsziels die sensomotorischen Fähigkeiten eines beliebigen Menschen an einem Fahrsimulator zu bewerten, könnte zukünftig auf eine 1 zu 10 Verteilung an weiblichen zu männlichen Probanden geachtet werden. Damit würde die Verteilung einen ähnlichen Wert zur Realität aufweisen.

Als kritisch zu sehen ist auch, dass der beschriebene Probandenfilter in Kapitel 4.1.2 zu einer ungleichmäßigen Verteilung führt, weil Frauen vermehrt unter Kinetose leiden als Männer und daher ausgeschlossen wurden [125]. Heiß [125] schlussfolgerte, dass das Auftreten von Kinetose häufiger bei Personen, die das Fahrzeug nicht aktiv lenken, auftritt. Daher sollten die Fragen umformuliert werden, um Kinetosefälle, die bei einer aktiven Fahrzeugführung aufgetreten sind abzufragen. Das kann zu einer repräsentativen Verteilung zwischen männliche und weibliche führen. Gegen eine Wiederholung mit gleichmäßiger Verteilung spricht der Bericht von Abendroth und Bruder [31] über die Grenzen menschlicher Leistungsfähigkeit. Sie unterscheiden in Fähigkeiten des Menschen, sich sensorisch zu orientieren und aufgenommen Informationen motorisch auszuführen und in die Eigenbewertung dieser Leistungsfähigkeit. Sie stellen fest, dass Männer ihre Leistungsfähigkeit überbewerten und Frauen sich tendenziell unterschätzen, dennoch eine gleiche Leistung aufweisen.

Der Untersuchungsgegenstand, hinsichtlich der Methode des Manövers, beschrieben in Kapitel 4.1.2, musste an eine Vorstudie angepasst werden, um Grundsätze der Forschungsethik, Schutz

vor Beeinträchtigung oder Schädigung, nicht zu verletzen [126]. Zusätzlich wurden Fragen zur Ermittlung von bewegungsempfindlichen Teilnehmern nach Neukum und Grattenthaler [8, S. 45-46] gestellt, um sensitive Personen aus dem Versuch zu entfernen. Dennoch kam es zu einer Ausfallquote von 26,4 % (neun Probanden). Es wird nicht empfohlen, diese Studie mit dem Konzept Positionsvorgabe zu wiederholen, weil es häufig zu Stürzen und daraus resultierender Desorientierung, Übelkeit oder Schweißausbrüchen kommt. Bei einem Teilnehmer kam es zu der Entleerung des Magens. Alternativ könnte dieses Vorgehen überarbeitet werden mit dem Ziel, eine sensitive Methode, zur Einordnung des Verhaltens in das Verhaltensmodell, ohne dem Auftreten von Kinetose zu entwickeln. Eine weitere Beanstandung ist das gewählte Within-Subject-Studiendesign. Aufgrund der Simulatorkrankheit, kam es zu einer gegenseitigen Beeinflussung der Konzepte sogenannte Interaktion, damit wurde das besser geeignete Konzept negativ beeinflusst. Um auf der Berichtenden- und Leistungsebene geeignete Ergebnisse zu erhalten, sollte ein Datensatz in einer separaten Studie erhoben werden, beziehungsweise ein Between-Subject-Design angewandt werden.

Kritisch betrachtet wird, dass der RALI nur zum Ende eines Konzeptes erhoben wurde. Alternativ könnte eine Erhebung einzelner Manöver durchgeführt werden, um den Einfluss der Manöver auf die Simulatorkrankheit zu ermitteln. Jedoch ist der Fokus dieser Studie, ob die Lenkinteraktionen zu einer signifikant unterschiedlichen, mentalen Beanspruchung führen.

Reiz-Reaktionsfahrt

Während der Reiz-Reaktionsfahrt wurde eine Bewertung von zwei Lenkinteraktionen anhand der Anzahl an Stürzen durchgeführt. Es wird die Annahme getroffen, dass eines der beiden Konzepte zu einem Automatismus führt, der die Fahraufgabe bei einem Erstkontakt erfüllen lässt, näher in Kapitel 2.2.2 beschrieben.

Zühlke [127, S. 26] und Winner, Hakuli und Wolf [53, S. 7-8] schreiben, dass der Mensch bei unbekanntem Situationen und fehlenden Regeln auf der höchsten kognitiven Ebene Regeln entwickelt. Diese Regeln werden durch Reiz-Reaktionsfehler, also Handlungsfehler, durch das sogenannte Trial-And-Error-Prinzip erlernt. Unter Einbezug der Ergebnisse aus 4.1.3 ist zu sehen, dass die Probanden das Konzept Kraftvorgabe mit signifikant weniger Stürzen erfüllen konnten. Im Median lag die Anzahl an Stürzen bei der Kraftvorgabe bei 0 und bei der Positionsvorgabe bei 4 Stürzen. Die Standardabweichung $\sigma_{KV} = 0.5$ zeigt, dass die Teilnehmer der Studie die Fahraufgabe beim Erstkontakt beherrschten. Zu erkennen ist auch, dass die Teilnehmer im Durchschnitt $\bar{X}_{pV} = 4.16$ Versuche benötigten, um die Fahraufgabe bei einem Erstkontakt erfüllen zu können. Basierend auf der Aussage von Zühlke zum Trial-And-Error-Prinzip wird die Positionsvorgabe in der Ebene des wissensbasierten Verhaltens und die Kraftvorgabe im regelbasierten Verhalten eingeordnet.

Tabelle 4.14: Ergebnis der Alternativhypothese für die Reiz-Reaktionsfahrt.

Hypothese	Ergebnis
Alternativhypothese $H1_A$: Während der Reiz-Reaktionsfahrt ist ein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an Stürzen vorhanden.	Angenommen

Leistungsmessfahrt

In der Leistungsmessfahrt wurde die Fahrperformance (SDLP), mentale Beanspruchung und der Fahrzustand für die Interaktionskonzepte ermittelt. Die Aufgabe bei diesem Fahrversuch

Tabelle 4.15: Ergebnis der Alternativhypothese für die Leistungsmessfahrt unter Einbezug der Manöver.

Hypothese	Ergebnis
$H1_{DKreisfahrt}$: Für die Leistungsmessfahrt der stationären Kreisfahrt weist die Standardabweichung der lateralen Position einen signifikanten Unterschied auf.	Angenommen
$H1_{DUturn}$: Für die Leistungsmessfahrt des doppelten U-Turn weist die Standardabweichung der lateralen Position einen signifikanten Unterschied auf.	Angenommen
$H1_{DSpurwechsel}$: Für die Leistungsmessfahrt der Spurwechsel weist die Standardabweichung der lateralen Position einen signifikanten Unterschied auf.	Angenommen

ist es, mittig der Fahrbahn zu fahren. Dadurch ist der Fahrvorgang in die Ebene der Bahnführung sowie Stabilisierung eingegliedert und eine antizipatorische Steuerung kann ausgeführt werden [55]. Der antizipatorische Steuerungsvorgang wird in Kapitel 4.1.4 aufgegriffen und diskutiert. Knappe, Keinath und Meinecke [105, S. 6-7] schreiben, dass die SDLP ein geeignetes Maß darstellt, um die Fahrerablenkung bei Personenkraftwagen aus einer selbst gewählten Linie zu bestimmen. Da Zweispurfahrzeuge gegenüber Einspurfahrzeugen eine geringere Abweichung zur Fahrbahnmitte aufweisen können, muss für diesen Versuch eine mittige Fahrt vorgegeben werden. Kritisch zu betrachten ist, dass die Probanden nicht die Möglichkeit hatten, eine selbst gewählte Fahrlinie zu wählen. Diese Aufgabe hat zur Folge, dass der Proband auf Abweichungen von der Zieltrajektorie reagieren muss und die mentale Beanspruchung beeinflusst werden kann [53, S. 23] [21]. Unter Einbezug beider Konzepte und gefahrenen Manöver ist in Abbildungen 4.6, 4.7 und 4.8 zu sehen, dass sich trotz eines vermuteten Erlernens der Positionsvorgabe alle SDLP Werte signifikant unterscheiden. Die Spannweite der Kraftvorgabe weist für die stationäre Kreisfahrt bei der ersten Umrundung und bei dem doppelten U-Turn einen etwa dreifach kleineren Wert gegenüber der Positionsvorgabe auf. Bei dem Spurwechsel ist die Spannweite ähnlich, jedoch reduziert sich der Median um etwa $\tilde{X}_{pV} = 0.5$ m, bzw. $\tilde{X}_{KV} = 0.8$ m. Unter Einbezug der Abbildung 4.7 ist gut zu erkennen, dass der Median bei der Positionsvorgabe, gegenüber der anderen Konfiguration, sinkt. Für die Kraftvorgabe ändert sich der Interquartilsabstand, wobei dieser kein kontinuierliches Verringern aufweist.

Zu dieser Aussage steht die Leistungsmessfahrt mit dem doppelten U-Turn im Widerspruch. Für die Positionsvorgabe erhöht sich der Median auf $\tilde{X}_{pV} = 2.44$ m, also um 0.86 m. Der Wert der Spannweite erhöht sich um 0.9 m. Die Vergrößerung des Medians wird auch für die Kraftvorgabe gemessen, jedoch mit einer gleichbleibenden Spannweite (Abbildung 4.8). Dieses Manöver unterscheidet sich, neben einem größeren Radius von 25 m, in einem Richtungswechsel sowie dem Umlegen des Motorrads. Wie bereits zu Beginn beschrieben, können erhöhte Rollraten, wie bei einer Umkehr, zu erhöhter Übelkeit und mentaler Beanspruchung führen. Daher wird die Verschlechterung der SDLP mit der erhöhten Dynamik des Fahrzeugs, das sich durch Trainings reduzieren kann, begründet.

Die Probanden können von Beginn an die Fahraufgabe mit dem Konzept Kraftvorgabe besser erfüllen und weisen über alle Messungen einen signifikant besseren SDLP auf. Nach der Einordnung der Kraftvorgabe in die wissensbasierte Ebene, wird in der Leistungsmessfahrt ein besserer Steuerungsvorgang beobachtet. Dadurch macht es den Anschein, dass die Kraftvorgabe aufgrund der geringeren SDLP und Anzahl an Stürzen besser für Methoden mit Anzeige- und Bedienkonzept-Untersuchungen geeignet ist. Das wiederum wird durch die Bestätigung der Alternativhypothesen in Tabelle 4.14 und Tabelle 4.15 ausgedrückt.

Ganzheitliche Betrachtung

Die abschließende Diskussion ist die ganzheitliche Betrachtung der Ergebnisse unter Einbezug der mentalen Beanspruchung sowie dem Fahrerzustand. Wie bereits erwähnt, ist das Ziel, die Beanspruchung für die Interaktionskonzepte zu messen. In Kapitel 4.1.4 wird die Problematik der Aufgabe des mittigen Fahrens und der daraus möglicherweise resultierenden erhöhten mentalen Beanspruchung beschrieben. Huang [74] unterscheidet in Anlehnung an Bubb [128] zwei Darstellungsarten zur Reduzierung einer Regelabweichung, nämlich in Folge- und Kompensationsaufgabe. Die Folgeaufgabe und die daraus resultierende Regelungsstrategie bleiben den Menschen überlassen. Damit kann der Proband selbst entscheiden, wie und wann die Korrektur ausgeführt wird. Der Fahrer kann somit vorausschauend lenken und ein antizipatorische Steuerung aufweisen, näher beschrieben in Kapitel 2.2.4. Bei der Kompensationsaufgabe bekommt der Fahrer die ständige Information, die Regelabweichung, in diesem Fall die Position zur Mitte, zu korrigieren. Damit wird der Fahrer zum Regler und muss Strategien aus der klassischen, linearen Regelung anwenden das in Kapitel 2.2.4 als kompensatorisches Fahrerlenkverhalten beschrieben ist [129, S. 1140]. Vergleichbar sind diese Konzepte folgendermaßen: Eine klassische Autobahnfahrt ohne besondere Vorkommnisse ist eine Folgeaufgabe, weil der Fahrer vorausschauend Abweichungen korrigieren kann. Das Fahrverhalten durch eine Baustelle mit einer reduzierten Fahrbahnbreite kann damit mit einem Regelverhalten und einem erhöhtem Regelungsaufwand gleichgesetzt werden. Dieses Fahrverhalten wird durch die Aufgabe einer mittigen Durchfahrt provoziert.

Unter Einbezug der RALI Ergebnisse in Tabelle 4.9, weisen beide Konzepte eine erhöhte mentale Beanspruchung auf. Dieses Ergebnis setzt sich aus dem Within-Subject-Studiendesign und der Kompensationsaufgabe zusammen. Die mentale Beanspruchung besteht aus den Items benötigter Aufwand an Aufmerksamkeit und Aufwand zur Situationsbewältigung. Für das Konzept der Positionsvorgabe wird ein Median von $\tilde{X}_{pV} = 5.0$, gemessen im Vergleich zur Kraftvorgabe mit $\tilde{X}_{KV} = 4.0$. Für den Aufwand zur Situationsbewältigung wurde das Konzept Positionsvorgabe mit einem Median von $\tilde{X}_{pV} = 4.0$ und die Kraftvorgabe, welche einen Wert von $\tilde{X}_{pV} = 3.0$ aufweist. Unter Einbezug beider Spannweiten ist auch zu sehen, dass sich diese unter den Konzepten nicht unterscheiden.

Miličić [29, S. 38] schreibt, dass 90 % der aufgenommenen Informationen bei der Fahrzeugführung über den visuellen Kanal erfolgen und eine Belastung verursachen können. Sie benennt, dass die Spurhalteaufgabe, das Einschätzen anderer Verkehrsteilnehmer, die kognitiven Prozesse wie der Aufwand an benötigter Aufmerksamkeit zu einer erhöhten Beanspruchung führen können. Für die benötigte Aufmerksamkeit ergibt sich damit ein geringerer Aufwand für das Konzept Kraftvorgabe, der dennoch einen hohen Wert aufweist. Der benötigte Aufwand an Aufmerksamkeit kann genutzt werden, um die Effizienz eines Systems zu ermitteln [29, S. 58]. Dadurch ist es möglich den Erfüllungsgrad in Bezug zum Nutzen zu bringen. Betrachtet man den bewerteten Aufwand zur Situationsbewältigung aus Abbildung 4.9 und die Ergebnisse der SDLP aus Kapitel 4.1.3, ist von einer höheren Effizienz bei dem Konzept Kraftvorgabe auszugehen.

Guth [80, S. 38] nutzt nur das Item Aufwand zur Situationsbewältigung, die mentale Beanspruchung, von Guth [80] auch erlebte Beanspruchung genannt, zu erfassen. Er erhöht kontinuierlich die Belastung der Nebenaufgabe, und erhält über die Bandbreite des Messbereiches signifikante Ergebnisse. Nitsch und Hackfort [130] beschreiben die Bedeutung der Situationsbewältigung als Abhängigkeit einer vorhandenen Handlungskompetenz, die wiederum von der Situation und Erfahrung abhängt. Im Ganzen betrachtet messen beide Ansätze die individuelle Fähigkeit, eine Situation zu bewältigen.

Da Pauzié und Gelau [62] keine Berechnungsvorschrift für die vier Items der mentalen Beanspruchung vorgeben, siehe Kapitel 4.1.2 und 2.3.2, werden die Definitionen [29] und [130] angewandt, um die Interaktionskonzepte zu beurteilen.

In dieser Untersuchung werden beide Items separat bewertet, aber gleichermaßen als Aussage zur mentalen Beanspruchung verwendet. Damit wird das Konzept Kraftvorgabe als effizientere Methode hinsichtlich des benötigten Aufwandes an Aufmerksamkeit beurteilt. Für den Aufwand zur Situationsbewältigung werden die zuvor beschriebenen Definitionen verwendet. Nach Nitsch und Hackfort [130] beeinflusst die vorhandene Handlungskompetenz den Aufwand zur Situationsbewältigung und damit die mentale Beanspruchung. Für die Kraftvorgabe ist eine bessere Situationsbewältigung gegenüber der Positionsvorgabe ersichtlich. Diese Beobachtung deckt sich auch mit den objektiven Messgrößen SDLP und Anzahl an Stürzen. Basierend auf den Ergebnissen und statistischen Auswertungen aus Kapitel 4.1.3 wird die Alternativhypothese für die mentale Beanspruchung angenommen, dargestellt in Tabelle 4.16.

Der Fahrerzustand bewertet anhand der Items Stress und negative Emotionen die Anstrengung und Handhabung des virtuellen Fahrzeugs. Der Interquartilsabstand für die Kraftvorgabe bei dem Item Stress, weist eine doppelt so große Streuung gegenüber der Positionsvorgabe auf. Die Inkonsistenz der Probanden kann mit den Fähigkeiten begründet werden. In der Durchführungsphase wurde beobachtet, dass die Teilnehmer die Fahraufgabe unterschiedlich gut erfüllen konnten. Zusätzlich kommt die Störgröße der Simulatorkrankheit dazu, die wiederum abhängig vom Probanden ist [8, S. 14]. Der Median weist für die Kraftvorgabe $\tilde{X}_{KV} = 2.0$ sowie dem unteren Quartil von 1 eine starke Konzentration auf ein geringeres Stresslevel hin (Abbildung 4.9). Pauzié und Gelau [62] fanden heraus, dass das Handling auf einem Motorrad den Fahrerzustand beeinflusst. Daher empfehlen sie, die negativen Emotionen bei der Handhabung des Fahrzeugs einzubeziehen. Dieses Item weist auch für die Kraftvorgabe den geringsten Wert auf. Hervorgehoben wird, dass die Positionsvorgabe mit einem Median von $\tilde{X}_{PV} = 3.0$ und einem oberen Quartil von 3 bewertet wird. Aufgrund der ermittelten statistischen Signifikanz in Kapitel 4.1.3 wird für den Fahrerzustand die Alternativhypothese angenommen.

Tabelle 4.16: Ergebnis der Hypothesen für die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand.

Hypothese	Ergebnis
$H1_B$: Für die Leistungsmessfahrt weist die mentale Beanspruchung einen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonfigurationen auf.	Angenommen
$H1_C$: Für die Leistungsmessfahrt weist der Fahrerzustand einen signifikanten Unterschied bei den Lenkkonfigurationen auf.	Angenommen

Die Betrachtung des SSQ erfolgt abschließend über alle Studien zusammengefasst in Kapitel 5.

4.2 Studie 2: Notwendigkeit des Lenkwinkels für die Fahraufgabe

Das folgende Kapitel beinhaltet die Untersuchung zu der zweiten Forschungsfrage aus 2.5. Im vorherigen Kapitel 4.1 wird die Interaktionsgröße mit einer Kraftvorgabe dem Mensch-Maschine-Interface (MMI) Motorradlenker als regelbasiertes Verhalten zugeordnet. Damit ist der Lenkwinkel eine Zustandsgröße, die als Resultat einer Krafteingabe betrachtet werden kann. In diesem Abschnitt wird untersucht, ob eine isometrische Lenkung zur Erfüllung der Fahraufgabe ausreicht, um Untersuchungen zu ABK durchführen zu können. Wie in 2.9 bereits dargestellt, befindet sich der Lenkwinkel eines Motorrades im Hauptfahrbereich, also ab $40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und bei einem Rollwinkel bis 30° , bei weniger als 2° . Daher wird vermutet, dass die Rückmeldung keinen nennenswerten Einfluss auf die Fahraufgabe hat.

Die haptische Rückmeldung wird als zentraler Bestandteil für die Wahrnehmung eines realitätsnahen Motorradsimulators erachtet [82] [83]. Die Zusammensetzung des Fahr- und Lenkgefühls ist näher beschrieben in Kapitel 2.4.2. Gleichzeitig kann die Rückmeldung einen Einfluss auf die Lenkpräzision, den Lenkkomfort, das dynamische Verhalten und Rückmeldungen als Nutzerinformation haben [S. 12][56]. Bei zweispurigen Fahrzeugen ist es üblich, den Verlauf des Lenkmoments über den Lenkwinkel zu betrachten, um eine erste Auslegung der Fahrzeugcharakteristik durchzuführen [131, S. 12] [56]. Bei einspurigen Fahrzeugen wird dieses Vorgehen nicht gewählt, weil das charakteristische „Countersteering“, auch Gegenlenken bezeichnet, auftritt, stattdessen kann der Rollwinkel, die Rollrate oder die maximale Amplitude genutzt werden [132].

In dieser Studie liegt das Ziel in der Ermittlung, ob die Rückmeldung des Lenkwinkels die Fahraufgabe beeinflusst. Verglichen werden die Konzepte isometrische Konfiguration und Positionsfeedback-Konfiguration, wobei beide auf einer Kraftvorgabe basieren. Das Bestreben ist es, zu ermitteln, ob Motorradsimulatoren mit einer Positionsrückmeldung ausgestattet werden sollten, wenn der Haupteinsatzbereich nach Milicic [S. 3-6][11] Probandenstudien sind.

4.2.1 Technische Limitationen

Eine technische Limitation beschränkt die Leistung eines Systems und damit auch den Einsatzbereich. In diesem Fall ergibt sich eine Anwendungsbegrenzung der Positionsrückmeldung durch den elektrisch angetriebenen Motor und den isometrischen Aufbau. Dieser limitiert den Untersuchungszweck durch die auftretende Torsion.

Positionsrückmeldung

Zunächst werden die Einschwingzeiten für Lenkwinkel bis 2° und anschließend die Regelabweichung im Fahrbetrieb betrachtet. Diese Messungen haben den Zweck, einen Überblick über die Güte der Positionsrückmeldung zu geben.

In Abbildung 4.10 sind die Einschwingzeiten für unterschiedliche Sprünge zu sehen. Die Messungen erfolgten im verbauten Zustand am Mockup, daher kann die Einschwingdauer über die Sprunghöhe variieren. Um dennoch eine Aussage zu treffen, wurde eine Näherungsfunktion mit Wahrscheinlichkeitsgrenzen bis 90 % gewählt. Zu sehen ist, dass die Einschwingzeit, wie erwartet, über die Sprunghöhe ansteigt.

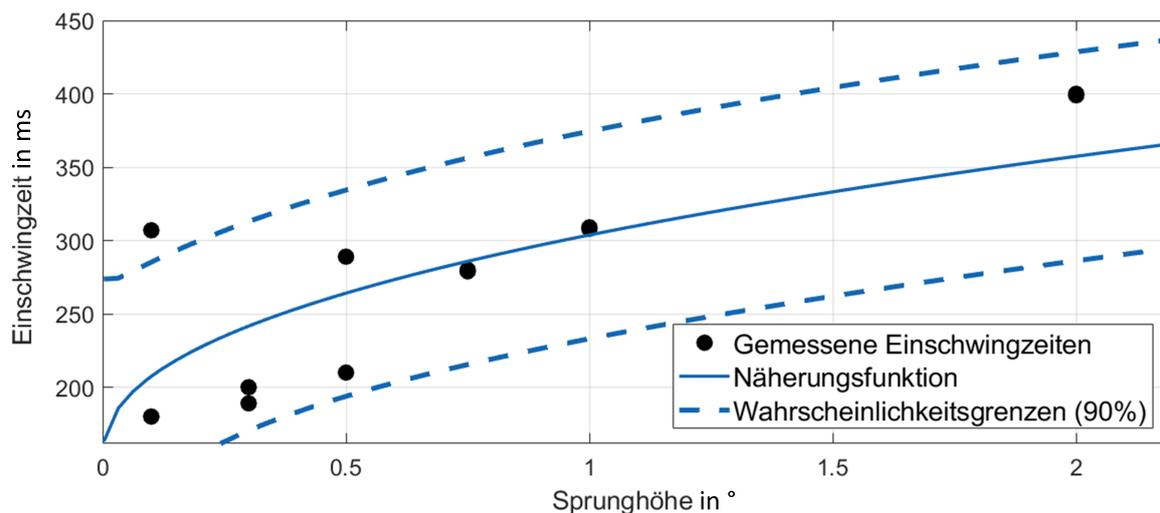


Abbildung 4.10: Gemessene Einschwingzeiten im verbauten Zustand mit Näherungsfunktion und den Wahrscheinlichkeitsgrenzen der Einschwingzeiten.

Bei Lenkwinkel bis zu 0.5° liegt die Einschwingzeit bei ca. 200 ms. Für eine Sprunghöhe bis 1° liegt die Einschwingzeit bei 300 ms und für einen 2° -Sprung vergehen ca. 400 ms. Da die Nutzung der Positionsrückmeldung kontinuierlich erfolgt und für nicht dynamische Fahrten geplant ist, wird ein geringer Phasenversatz erwartet.

Die Regelabweichung im Fahrbetrieb wurde anhand einer Autobahnfahrt mit $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ermittelt. Im Anhang in Abbildung C.1 ist die Soll- und Istposition für eine komplette Versuchsdurchführung abgebildet, in Abbildung 4.11 nur ein Ausschnitt. Darin sind auch mögliche Störgrößen enthalten, die die Regelgüte negativ beeinflussen können. Zu sehen ist, dass während des Einschwingvorgangs eine Abweichung von bis zu 0.05° auftritt. Im zweiten und dritten Abschnitt tritt kein Nulldurchgang auf, das liegt am gewählten Autobahnabschnitt mit einem Kurvenradius zwischen 700 m und 900 m. Im vierten Abschnitt befindet sich ein gerader Teil der Strecke. Dieser wird für eine nähere Betrachtung der Regelabweichung herangezogen.

Positionsänderung des isometrischen Aufbaus

Die Befestigung der Lenkachse erfolgt anhand einer Fixierung der Gabelbrücke. Dazu wurde in der Lenkachse eine zweite Gabelbrücke konstruiert, die mit dem Rahmen verbunden ist. Daher tritt bei einer Kraftübertragung eine Bewegung der Lenkachse auf, die wiederum als Lenkwinkel betrachtet werden kann.

Bei einer virtuellen Messfahrt wurde festgestellt, dass Lenkmomente bis maximal 8 Nm auftreten. Dazu wurde eine Messung des Lenkwinkel für den isometrischen Aufbau durchgeführt. Es konnte eine maximale Änderung von $0,25^\circ$ festgestellt werden. Unter Einbezug des Weber-Fechner-Gesetz [133] muss eine absolute Änderung des Lenkwinkels zwischen 9.6 % und 14 % auftreten, bis der Mensch diese wahrnimmt [84] [85]. Newberry, Griffin und Dowson berichten von bemerkbaren Winkeländerungen zwischen 0.69° - 0.90° . Basierend auf diesen Studien kann angenommen werden, dass die isometrische Lenkung unterhalb der Wahrnehmungsschwelle liegt.

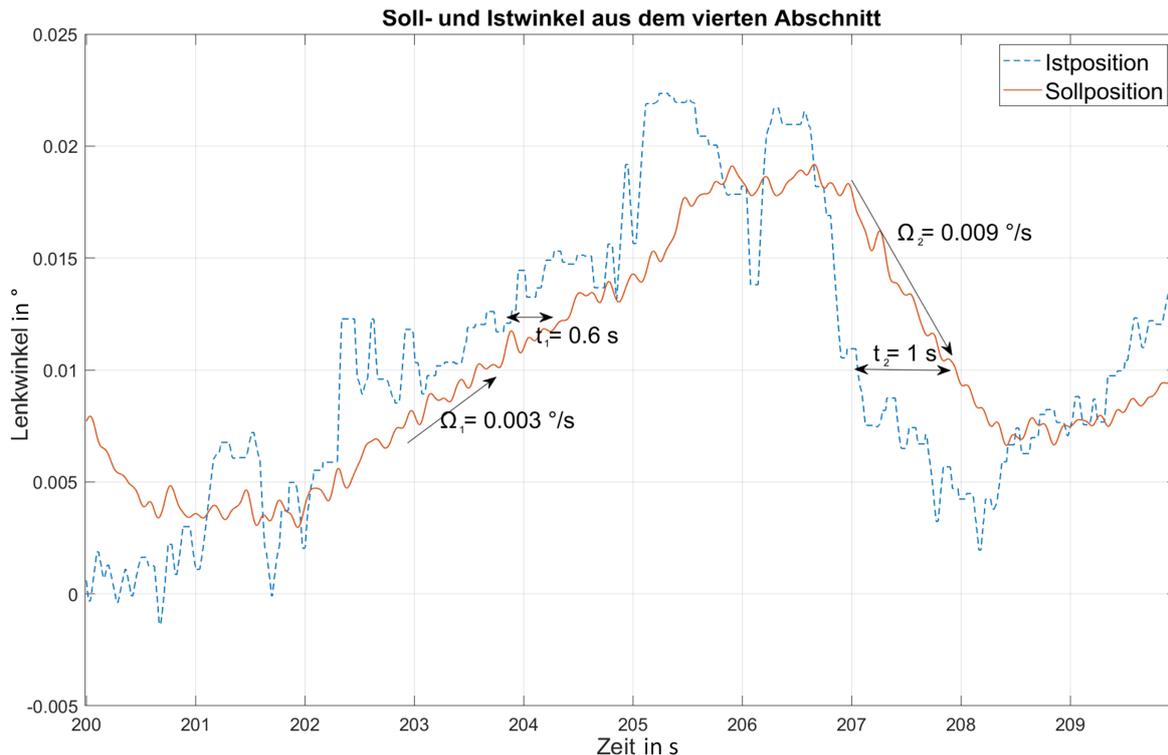


Abbildung 4.11: Gemessene Regelabweichung während einer Geradeausfahrt bei einer Geschwindigkeit von etwa $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.

4.2.2 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel dieser Studie ist die Ermittlung, ob eine Rückmeldung des Lenkwinkels eine Notwendigkeit für die Fahrsimulation darstellt und ob die Probanden den fixierten Lenkwinkel wahrnehmen. Eine Notwendigkeit ergibt sich, wenn die Rückmeldung die mentale Beanspruchung positiv beeinflusst, wenn es zu weniger Stürzen kommt oder das virtuelle Fahrzeug einfacher zu stabilisieren ist [39]. Der Aspekt, ob die bereits identifizierte Lenkinteraktion zu einem fertigkeit-basierten Verhalten führt, stellt eine Teilbetrachtung dar. Dieses Verhalten tritt auf, wenn der Proband die Fahrzeugführung unterbewusst ausführt. Um dieses Verhalten festzustellen, wird eine Nebenaufgabe gewählt, die eine hohe Belastung aufweist. Wenn die Probanden die Fahraufgabe dennoch ausführen können, kann angenommen werden, dass ein fertigkeit-basiertes Verhalten vorliegt.

Eine Besonderheit bei Probandenstudien ist, dass der zu untersuchende Gegenstand oder die Verhaltensweise erst auftreten kann, wenn signifikant unterschiedliche Belastungen im Versuch getestet werden. Guth [80] entwickelte hierfür eine Methode und konnte zeigen, dass diese zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Absicherung führt. Eine weitere Besonderheit in dieser Untersuchung ist, dass die Bewertung der Fahraufgabe nur durch die Belastung einer Modalität erfolgen darf. Das sogenannte Multiple-Ressourcen-Modell von Wickens [65] ist unterteilt in Verarbeitungsphasen und Wahrnehmungsmodalitäten, näher beschrieben in Kapitel 2.3.3. Wickens schreibt, dass unter bestimmten Umständen eine bessere oder schlechtere gleichzeitige Ausführung einer Tätigkeit oder mentalen Aufgabe erfolgen kann. Je größer die Distanz zwischen den Reizen ist, desto besser können Aufgaben ausgeführt werden.

Dieses Modell wird herangezogen, um eine Gestaltungsempfehlung für die Nebenaufgabe zu erhalten (Kapitel 4.2.3). Damit wird sichergestellt, dass der Proband nur die kognitive Ressource beansprucht, um die Differenzierung der Lenkkonfigurationen nicht negativ zu beeinflussen.

Zusätzlich wird die Nebenaufgabe in Schwierigkeitsstufen aufgeteilt um festzustellen, ob unterbewusste Handlungen oder ein fertigkeitbasiertes Verhalten ausgeführt wird.

Die mentale Beanspruchung steht in dieser Untersuchung im Fokus. Falls die Lenkkonfigurationen zu Unterschieden in der Führungs- oder Stabilisierungsebene führen, ist eine andere Regelleistung durch den Probanden erforderlich [134] [135] [39, S. 227-228]. Falls eine isometrische Lenkung diesen Effekt hervorruft, kann die Verwendung als problematisch erachtet werden, weil zukünftige ABK-Untersuchungen interferieren können und damit die Aussagekraft einschränken.

Kullack, Ehrenpfordt und Eggert [136] zeigen, dass ein Aufbringen eines synthetischen Lenkmoments zu einem entgegengesetzten Lenkverhalten (Gegenlenkreflex) und damit zu einem unkontrollierten Verhalten durch den Fahrer oder Probanden, führen kann. Im Zweispursegment wird die Auswertung des aufgebrauchten Lenkmomentes genutzt, um Schätzwerte über die Müdigkeit des Fahrers zu erhalten. Baumgarten et al. [137] empfehlen den Mittelwert, Minimum, Maximum und die Standardabweichung des Lenkmoments zu erfassen, um die Interaktion zu bewerten. Zu beachten ist nur das einzelne Streckentypen für eine Auswertung genutzt werden. Zur Ermittlung, ob Unterschiede in der Lenkinteraktion in Abhängigkeit der Konfigurationen vorhanden sind, wird der Mittelwert des Lenkmoments ausgewertet.

Auch in dieser Untersuchung wird das Modell von Buschardt [39, S. 227] verwendet (Kapitel 2.2.1). Als Leistungsmaß empfiehlt Buschardt subjektive Beurteilungen, Fahrzeit, Fahrfehler, Spurabweichung oder Fahrgeschwindigkeit. Diese Leistungsgrößen können in Abhängigkeit des Fahrer-Fahrzeug-System, das in diesem Fall die Lenkkonfiguration darstellt, oder der Belastung variieren. Da der Versuch bei einer konstanten Geschwindigkeit von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ durchgeführt wird, sind Fahrzeit und Fahrgeschwindigkeit nicht verwendbar. Im letzten Versuch wurde die Spurabweichung in Form der SDLP verwendet, um die Fähigkeit der Stabilisierung zu ermitteln. In dieser Studie wird die SDLP nicht angewandt, weil der Teilnehmer die Möglichkeit haben soll, wie es auch in der Realität geschieht, die Position innerhalb der Fahrbahn selbst zu wählen. Magiera et al. [138] empfehlen zur Schätzung der Fahrfertigkeit, die Rollrate zu verwenden. Aufgrund der Lenk-Roll-Kopplung wird dieser Zusammenhang gut abgebildet und ermöglicht eine Auswertung der auftretenden Korrekturen, indirekt der Präzision, während einer Fahrt [18].

Pfeffer und Harrer [12]: *„Das Lenkgefühl ist das subjektive Empfinden des Fahrers beim Lenken eines Fahrzeugs. Dieses Lenkgefühl resultiert aus der Empfindung und der Beurteilung des Fahrers vom Lenkverhalten bzw. des Fahrverhaltens des Fahrzeugs, es entsteht aus der Interaktion Fahrer-Fahrzeug.“* Neben der Erfassung des Lenkgefühls anhand eines Fragebogens wird empfohlen, das Lenkmoment gemittelt über den Fahrversuch zu bewerten. Der Fragebogen kann Unterschiede in den Teilaspekten der Items ermitteln und das gemittelte Lenkmoment hat eine objektive Größe der aufgebrauchten Kräfte über die Zeit [12].

Aus dem im Vorfeld beschriebenen Eigenschaften kann die Forschungsfrage hinsichtlich der Notwendigkeit eines Lenkwinkels für die Fahrsimulation mit den aufgestellten Hypothesen beantwortet werden (Tabelle 4.17). Zusätzlich aufgeführt sind die abhängigen und unabhängigen Variablen, in Kapitel 4.2.3 wird die Grafik detailliert erläutert.

4.2.3 Experimentelles Design

In diesem Abschnitt wird das gewählte Versuchsdesign, die Auswahl der Nebenaufgabe, die technische Umgebung und Einschränkungen, die der Untersuchungsgegenstand erfordert, beschrieben.

Tabelle 4.17: Fragestellung und abgeleitete Hypothesen zu mentalen Ressourcen, Leistungsmaßen und dem Lenkgefühl.

Fragestellungen und abgeleitete Hypothesen zu den Lenkkonfigurationen mit einer Positionsrückmeldung und als isometrischen Aufbau.	
Kodierung	Stellt die Rückmeldung des Lenkwinkels eine Notwendigkeit für die Motorradfahrsimulation dar?
H0_A	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.
H1_A	Bei den Lenkkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.
H0_B	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Mittelwert des Lenkmomentes.
H1_B	Bei den Lenkkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied im Mittelwert des Lenkmomentes.
H0_C	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in den Rollraten.
H1_C	Bei den Lenkkonfigurationen mit Nebenaufgabe besteht kein signifikanter Unterschied in den Rollraten.
H0_D	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Lenkgefühl.
H1_D	Bei den Lenkkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied im Lenkgefühl.

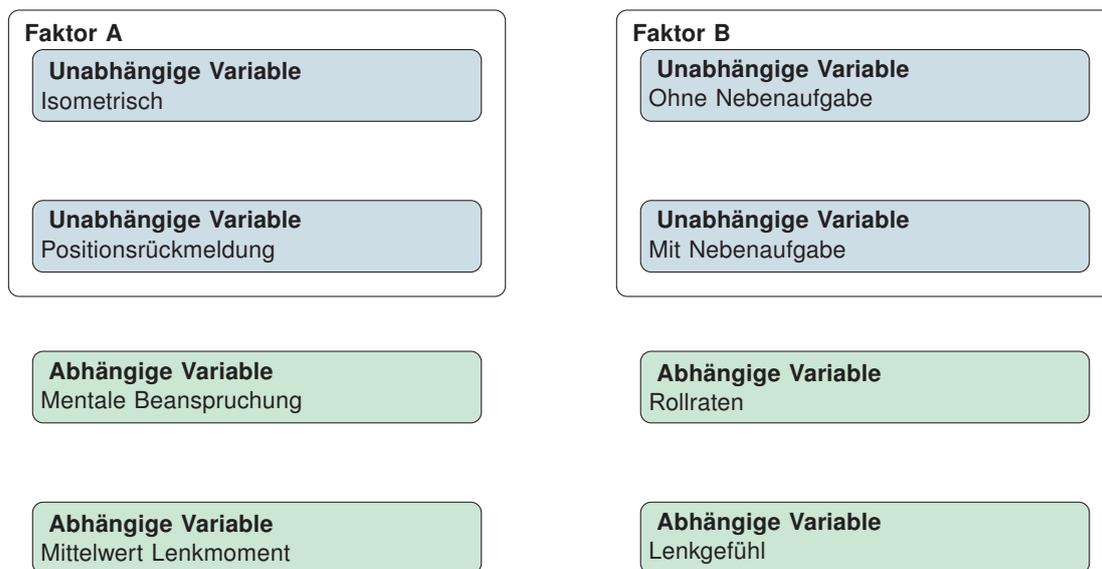


Abbildung 4.12: 2x2 Faktorieller Versuchsplan, Faktor A enthält die zwei Lenkkonfigurationen und Faktor B zwei unterschiedliche Belastungen mit den abhängigen Variablen aus den Hypothesen in Tabelle 4.17.

Versuchsaufbau

Der technische Aufbau des Simulators und die genutzte Software ist wie in Kapitel 4.1.2 beschrieben. Den einzigen Unterschied hinsichtlich der Lenkung stellt die Positionsrückmeldung im Vergleich zum isometrischen Aufbau dar. Als Versuchsstrecke für die Messfahrt wurde ein möglichst gerader Autobahnabschnitt gewählt. Für Trainingszwecke wird ein ähnlicher Aufbau mit einer S-Kurve und einem 5 km langen Abschnitt gewählt.

Versuchsdesign

Bei dem gewählten Studiendesign handelt es sich um ein Design mit randomisierten Messwiederholungen (Within-Subject-Studiendesign). Aus der Darstellung in Abbildung 4.12 der unabhängigen Variablen geht hervor, dass es sich um einen 2x2 faktoriellen Versuchsplan handelt. Faktor A enthält die zu untersuchenden Lenkkonfigurationen und Faktor B die Belastungen mit und ohne einer Nebenaufgabe. Erfasst werden die mentale Beanspruchung, das Lenkmoment, die Rollraten und das Lenkgefühl.

Im Vorfeld zur Hauptuntersuchung wurde eine Vorstudie durchgeführt um festzustellen, ob der zeitliche Rahmen der gesamten Studie, also die Dauer der Trainingsfahrt von fünf Minuten ausreicht und Auffälligkeiten bezüglich Studienabbrüchen auftreten. Zudem wurde die Nebenaufgabe, beschrieben in Kapitel 4.2.3, auf Ausführbarkeit überprüft. Es wurden insgesamt fünf Personen eingeladen, die keine Motorradfahrersimulatorerfahrung besitzen, ohne dass Auffälligkeiten beobachtet werden. In Kapitel 4.1 wurde von ungewöhnlich langen Übungsfahrten mit einer Dauer von bis zu 20 Minuten berichtet. Mit der empfohlenen Interaktion der Kraftvorgabe konnte jeder Teilnehmer nach einer Übungsfahrt von fünf Minuten die Fahraufgabe erfüllen. Diese Dauer wird für den Hauptversuch übernommen. Die Gesamtdauer des Versuchs beträgt somit maximal 90 Minuten, der detaillierte Versuchsablauf ist in Kapitel 4.2.3 beschrieben. Für die Nebenaufgabe wurde festgestellt, dass das Sortieren der Buchstaben in alphabetischer Reihenfolge zu Verzerrungen in der mentalen Beanspruchung durch Teilnehmer mit Legasthenie führen kann. Daher wurde eine Nebenaufgabe ausschließlich mit Zahlen gewählt.

Eine zentrale Fragestellung ist, ob der Lenkwinkel eine Notwendigkeit besitzt. Zusätzlich soll abgefragt werden, ob die Teilnehmer die Fixierung der Lenkachse wahrgenommen haben. Die Studie wird durchgeführt ohne die Probanden über den Versuchsinhalt zu informieren. Damit soll sichergestellt werden, dass keine Manipulation der Teilnehmer auftritt und Ergebnisse verfälscht werden. Zu vermeiden sind Suggestivfragen, die den Untersuchungsinhalt offenlegen, aber dennoch die sekundäre Fragestellung beantworten, nachzulesen in Kapitel 4.2.3.

Sekundäre Betrachtung

Zur Verdeutlichung der Bedeutung des Lenkwinkels in der Motorradfahrersimulation wird eine weitere Konfiguration ergänzt. Diese hat jedoch keinen Anspruch, in Bezug auf die Randomisierung, hinsichtlich der Korrektheit des Studiendesigns. Die letzte Fahrt in der gesamten Studie erfolgt als Positionsrückmeldung mit einem invertierten Lenkwinkel, jedoch mit der richtigen Interaktion einer Kraftvorgabe. Die selbst formulierten Fragen beinhalten eine mögliche Antwort zu der invertierten Positionsrückmeldung.

Material

In diesem Kapitel werden die verwendeten Materialien näher beschrieben. Zu Beginn wird die Nebenaufgabe ausgewählt und der Inhalt beschrieben. Zusätzlich werden die erfassten Größen anhand der Fragebögen erhoben und abschließend wird auf Instruktionen, Probandenfilter und ethische Maßnahmen eingegangen.

Demographischer Fragebogen

Der demographische Fragebogen erfasst die Fahrerlaubnisklasse, Alter, Geschlecht, Dauer des Besitzens eines Motorradführerscheins, gefahrene Kilometer im letzten Jahr, insgesamt gefahrene Kilometer und ob bereits Erfahrung in einem Fahrsimulator gemacht wurde.

NASA TLX

Zur Erfassung der mentalen Beanspruchung wird der NASA-Task-Load-Index (NASA TLX) genutzt [60]. Hart [139] beschreibt diesen als eine Methode, die zur Einschätzung einer Arbeitsbelastung während oder unmittelbar nach der Ausführung einer Aufgabe durch den Probanden verwendet werden kann. Der Fragebogen besteht aus den Subskalen mentale, physische und zeitliche Anforderungen, Frustration, Anstrengung und Performanz. Die verwendete Skala entspricht dem raw NASA TLX nach [60, S.17], bei diesem besteht die Bewertungsskala aus 20 Antwortmöglichkeiten. Für die Subskalen wird empfohlen, eine dem Untersuchungsziel entsprechende Gewichtung durchzuführen und anschließend nach der Berechnungsvorschrift zu multiplizieren, um einen Bereich zwischen 0 und 100 zu erhalten.

Fragebogen zum Lenkgefühl

Zum Erhalt des Leseflusses wird für die übernommenen Fragen in der Aufzählung 1 - 6 verzichtet auf Aussagen wie: Aus diesen Gründen wurde die Frage übernommen. Aufgrund fehlender Forschung auf dem Gebiet des Lenkgefühls bei Einspurfahrzeugen, wird ein Fragebogen zum Lenkgefühl aus dem Zweispursegment angepasst verwendet nach [39, S. 208-220] [140]. Riedel und Gnadler [140] entwickelten einen Fragebogen der zur Subjektivbeurteilung des Fahrverhaltens durch Normalfahrer. Der Schwerpunkt lag in der Nutzung geeigneter Fragen die die Begriffswelt, Erfahrung und Normalfahrer angepasst war. Die Reliabilität und Validität erfolgte durch Wiederholungsfahrten mit identischer Fahrzeugvariante ohne Wissen der Versuchspersonen [39, S. 218-219] [141]. Die Kategorien unterteilten sie in: Lenkung und Ansprechen, Gefühl für Fahrbahnkontakt, Stabilität, Leichtigkeit der Eingewöhnung und dem Gefühl von Kontrolle. Im nachfolgenden Abschnitt werden die ausgewählten Fragen aus den Vorschlägen zu Erfassung des Lenkgefühls begründet.

1. Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren.
2. Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben.
3. Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei einem Motorrad.
4. Es fällt mir leicht, mich an das Fahrzeug zu gewöhnen.

Zu 1) Die Stabilisierung eines Fahrzeugs, kann einen Einfluss auf die mentale Beanspruchung haben. Daher sollte die Verwendung einer Lenkkonfiguration in der Motorradfahrsimulation zu keinen signifikanten Unterschieden führen [39, S. 227-229].

Zu 2) Einen weiteren Aspekt stellt die Handhabung dar. Er beschreibt, dass die Handhabung eines Fahrzeugs als einfach wahrgenommen werden sollte. Die Begründung erfolgt über das Drei-Ebenen-Modell: Das Handeln in bekannten Situationen muss durch Wiedererkennen erfolgen, damit der Fahrer sich möglichst fertigkeitbasiert verhält [142, S. 19-20].

Zu 3) Die Wiedererkennung eines Fahrzeugtyps erfolgt über die Erwartungshaltung an eine Interaktion zwischen Menschen und dem Fahrzeug. Riedel und Gnadler [140] empfehlen daher zu fragen, ob die Erwartungen an ein Fahrzeug zutreffen.

Zu 4) Die Interaktion zwischen dem Menschen und der Maschine, gerade in der virtuellen Erlebbarkeit, erfordert ein möglichst schnelles Zurechtkommen. Riedel und Gnadler führten Untersuchungen bei Realfahrten durch, konnten aber beobachten, dass unterschiedliche Fahrzeugvarianten die Eingewöhnungszeit beeinflussen. In der Fahrsimulation werden Probanden in sogenannten Eingewöhnungsfahrten auf die virtuelle Welt konditioniert, um die Fahraufgabe möglichst gut zu erfüllen.

Buschardt [39] bewertete weitere Methoden, die für die Auswertung im Rahmen synthetischer Lenkmomente relevant sein können. Der Fragebogen zur Subjektivbeurteilung der Geradeauslaufeseigenschaften von Deppermann [143] wurde entwickelt, um das Fahrmanöver Geradeausfahrt zu Referenzfahrzeugen zu bewerten. Ein weiterer Fragebogen ist der für Normalfahrer zur Subjektivbeurteilung des Fahrverhaltens. Der Fokus liegt in der Bewertung der Aspekte: Erfüllen der Fahraufgabe und dem Lenkaufwand.

5. Das Fahrzeug lässt sich leicht auf einem geraden Kurs halten. [143]
6. Die Fahraufgabe ist leicht zu erfüllen. [39] nach [144]

Zu 5) Deppermann [143] untersuchte Fahrzeugtypen und vergleicht diese mit einem Bezugsfahrzeug, um Weiterentwicklungen zu bewerten. Eine Kategorie bewertet, ob sich das Fahrzeug leicht geradeaus fahren lässt. Aus Anwendungssicht zur Bewertung von ABK anhand geeigneter Methoden, siehe Milicic [11], beschrieben in Kapitel 1.1, stellt die Geradeausfahrt eines der wichtigsten Fahr Szenarien in der Motorradfahrsimulation dar. Zu 6) Willumeit [144] schreibt, dass ein variierendes Lenkmoment die Erfüllung der Fahraufgabe beeinflussen kann. Dazu benutzte Willumeit Fragen aus [145], die im Rahmen der Fahrsimulation entwickelt worden sind, um den Erfüllungsgrad der Fahraufgabe während einer simulierten Fahrt zu bewerten. Buschardt [39] erkannte die Relevanz zur Bewertung der synthetischen Lenkmomente.

Nach einer Zuordnung der Fragen in das Drei-Ebenen-Modell für zielgerichtete Tätigkeiten des Menschen nach Rasmussen und in die Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach Donges [53, S. 15] werden folgende Kategorien abgedeckt: Frage 1 bewertet die Stabilisierungsebene und Frage 2 die Führungsebene als Transportaufgabe. Frage 3 bewertet das regelbasierte Verhalten und Frage 4 das fertigkeitbasierte Verhalten. Frage 5 bewertet das Fahrzeug in der Längsdynamik im Bezug zu der Belastung. Frage 6 erfasst, wie gut die Fahraufgabe im Rahmen der Fahrsimulation erfüllt werden kann. Die Fragen werden nicht nach Relevanz gewichtet.

Diese Fragen werden übernommen, um Effekte in der Variation der Lenkkonfiguration zu ermitteln. Da es sich bei den Fragen um eine Zusammenstellung handelt, muss eine einheitliche Skala gewählt werden. Alle Autoren nutzen eine ungerade Skala mit sieben oder neun Auswahlmöglichkeiten. Für diese Untersuchung wurde eine vier-stufige Likert-Skala mit den Werten trifft nicht zu, trifft eher nicht zu, trifft eher zu und trifft zu verwendet, um eine Tendenz in den Konfigurationen zu messen (Anhang C).

Fragebogen mit eigenen Formulierungen

Wie bereits im Studiendesign erwähnt, soll ermittelt werden, ob die Unterschiede isometrische Lenkung, die Positionsrückmeldung und invertierte Positionsrückmeldung ohne suggestive Formulierung der Fragen wahrgenommen werden. Da es sich bei diesem Ziel um eine sekundäre Betrachtung handelt, wird keine Permutation der drei Konfigurationen durchgeführt. Zu den Fragen eins bis drei gibt es eine richtige Antwort, bei Frage 4 müssen die Abschnitte der Konfiguration zugeordnet werden.

1. Gab es Unterschiede hinsichtlich des Lenkverhaltens zwischen den Abschnitten?

A: Kommentarfeld

2. Welche Abschnitte waren gleich?

A: Alle waren gleich, Abschnitt 1 und 2, Abschnitt 1 und 3, Abschnitt 2 und 3, keiner war gleich

3. Welche Abschnitte waren unterschiedlich?

A: Alle waren unterschiedlich, Abschnitt 1, Abschnitt 2, Abschnitt 3, Keiner war unterschiedlich

4. Wie würden Sie die Lenkerbewegung charakterisieren?

Die Beantwortung erfolgte anhand einer Zuordnung der Abschnitte 1 -3

A: Entgegengesetzt, Bewegungslos, Zu steif übertrieben, Realistisch, Zu nachgiebig

Fragebogen zur Simulatorkrankheit

Die Erfassung der Simulatorkrankheit erfolgt, wie bereits in der ersten Studie angewandt, beschrieben in Kapitel 4.1.2.

Instruktion, Probandenfilter und ethische Maßnahmen

Der Versuch wird auf dem Gelände der BMW AG durchgeführt. Es wurden nur Probanden eingeladen, die keine Erfahrung am Motorradfahrersimulator haben. Um empfindliche Teilnehmer hinsichtlich der Simulatorkrankheit zu filtern, wird im Einladungstext der Hinweis nach [8], beschrieben in Kapitel 4.1.2, aufgenommen. Da in diesem Versuch Konfigurationen getestet werden, die durch ein Festschrauben an der Lenkachse technisch angepasst werden müssen, wird der Versuch und die Bewertung durch die Teilnehmenden explizit in zwei voneinander getrennten Räumen durchgeführt. Damit konnte sichergestellt werden, dass Teilnehmende den Umbau nicht mitbekommen. Aufgrund von Abläufen bis zum Start des Simulators, während der Teilnehmende bereits auf dem Mockup sitzt, werden die Teilnehmenden gebeten den Lenker nicht zu berühren. Damit kann sichergestellt werden, dass Teilnehmende während der isometrischen Konfiguration nicht durch eine Berührung ohne darauffolgende Bewegung irritiert sind. Vor dem Versuch wurde ein Fragebogen zu ethischen Aspekten in der Fahrsimulation ausgefüllt. Zudem wurde während des Vorversuchs auf eine zu hohe Belastung und das Auftreten der Simulatorkrankheit geachtet, es wurden keine Auffälligkeiten beobachtet.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 4.13 dargestellt. Ein gewählter Pfad entspricht dem Durchlauf eines Versuchs, die Kontenpunkte stellen den randomisierten Abschnitt dar. Nach der Einführung wird der demografische Fragebogen und der zur Simulatorkrankheit ausgefüllt. Ein Abschnitt besteht aus einer Konfiguration mit und ohne Nebenaufgabe. Nach jeder Eingewöhnung wird der Proband aus dem Raum gebeten ohne einen Fragebogen beantworten zu müssen. Nach jedem Abschnitt und einer Durchführung mit oder ohne Nebenaufgabe, werden der NASA TLX und der Fragebogen zum Lenkgefühl durch die Teilnehmer ausgefüllt. Der Abschnitt 3 erfolgt nach jeder Durchführung ohne zu randomisieren. Nach der letzten Durchführung werden alle Fragebögen, mit Ausnahme des demografischen Fragebogens, durch den Probanden ausgefüllt.

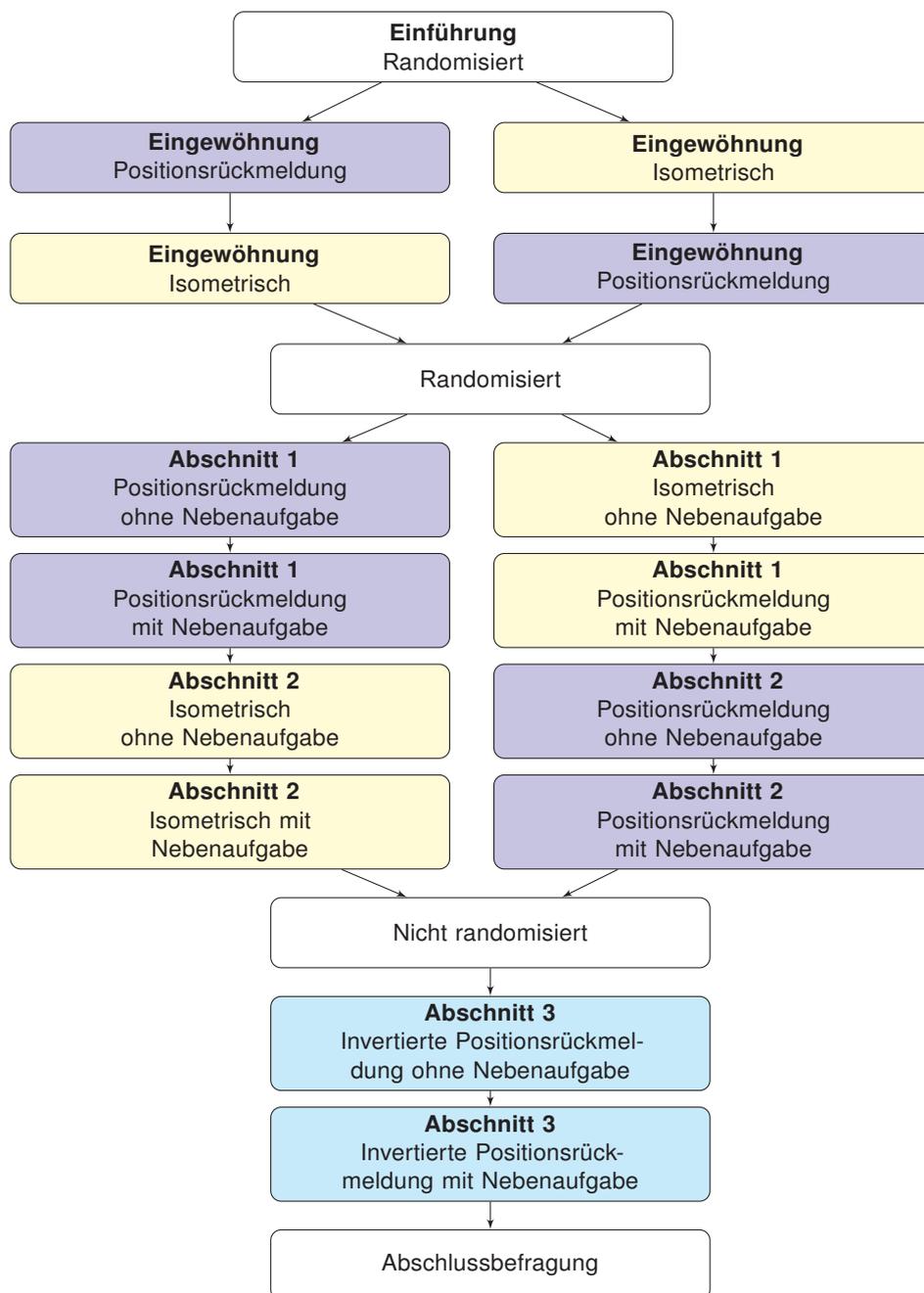


Abbildung 4.13: Versuchsablauf der zweiten Studie zur Ermittlung der Notwendigkeit einer Positionsrückmeldung; Dargestellt ist die Eingewöhnung (Abschnitt 1), die Randomisierung (Abschnitt 2) und die sekundäre Betrachtung der invertierten Positionsrückmeldung (Abschnitt 3).

Auswahl der Nebenaufgabe

Die Auswahl einer passenden Nebenaufgabe soll die Anforderungen an das Multiple-Ressourcen-Modell von Wickens [65] der möglichst größten Distanz zwischen den Reizen erfüllen [S. 9][80]. Die Bedienung des Simulators kann als räumliche Kodierung mit visueller Modalität betrachtet werden. Der Fahrer durchläuft die Zustände Wahrnehmen, Erkennen und Antworten. Das Wahrnehmen ist die visuelle Verarbeitung des Reizes. Unter Erkennen versteht man die räumliche Orientierung auf der Straße in Verbindung mit dem Rollwinkel des Fahrzeugs. Die manuelle Antwort ist der Lenkimpuls in Form einer Kraftvorgabe. Eine Nebenaufgabe, welche die Dimensionen der Verarbeitungsschritte teilt, kann zu einer Interferenz führen. Wird eine Nebenaufgabe

mit visueller Modalität gewählt, wie in Tabelle 4.18 abgebildet, kann es im Fall der Fahraufgabe zu Beeinträchtigungen kommen. Damit wird der Stroop- und Reaktionszeit-Test verworfen. Der größte Abstand zwischen den Reizen liegt bei der Nebenaufgabe Zahlen-Buchstaben-Reihenfolge vor, daher wird diese ausgewählt [146].

Tabelle 4.18: Kategorisierung der Nebenaufgaben nach der multidimensionalen Signalverarbeitung und Anwendbarkeit.

	Fahraufgabe	Reaktionszeit Test	Zahlen-Buchstaben-Reihenfolge	Stroop-Test
Kodierung	Räumlich	Räumlich / Verbal	Verbal	Räumlich
Modalität	Visuell	Visuell / Auditiv	Auditiv	Visuell
Antwort	Manuell	Manuell	Verbal	Verbal
Input		Darstellung in der Simulation oder durch Lautsprecher	Lautsprecher	Darstellung in der Simulation
Output		Tasten am Lenker	Mikrofon	Mikrofon

Als Nebenaufgabe wird die Zahlen-Reihenfolge gewählt. Der Teilnehmer hört während der Fahrt eine unsortierte Zahlenreihenfolge, die aufsteigend wiederzugeben ist. In Tabelle 4.19 ist die Nebenaufgabe mit der Anzahl der wiederzugebenden Zahlen l und die Länge des Zahlenvektors zwischen null und neun mit drei Wiederholungen n dargestellt. Die Zahlenabfolgen wurden anhand eines Zufallsgenerators erstellt. Die Abschnitte ergeben sich aus den Konfigurationen isometrisch, Positionsrückmeldung und invertierte Positionsrückmeldung, näher beschrieben im Abschnitt Versuchsablauf des Kapitels 4.2.3.

Tabelle 4.19: Die Abfolgen bestehen aus n = Anzahl der wiederzugebenden Zahlen l = Länge der Zahlenfolge.

Abschnitt 1	Abschnitt 2	Abschnitt 3
$n \times l$	$n \times l$	$n \times l$
3x3	3x3	3x3
3x4	3x4	3x4
3x5	3x5	3x5
3x6	3x6	3x6
3x7	3x7	3x7
3x8	3x8	3x8

Probandenkollektiv

Der empfohlene Datensatz wird anhand G-Power bestimmt (Tabelle 4.21). Die Effektstärke wird mit $\rho = 0.375$ angenommen, der α -Fehler mit $\alpha = 0.005$ und die konventionelle, fixierte Teststärke $1-\beta = 0.8$. Der errechnete empfohlene Datensatz ist 40. Cohen [147] empfiehlt zur Ermittlung des empfohlenen Datensatz, in kleiner Effekt $\rho = 0.2$, mittlerer Effekt $\rho = 0.5$ und großer Effekt $\rho = 0.8$ zu unterscheiden. Thompson [148] empfiehlt, nicht den Ansatz von Cohen zu nutzen, sondern sich an Studien zu orientieren, die ähnliche Fragestellungen untersuchen. Hoffmann und Joubert [149], untersuchten die Fähigkeit von Menschen bei der Wahrnehmung von Unterschieden, also Just-Noticeable-Differences (JND), anhand der Änderung des Lenkmoments, mit einer Stichprobe von $n = 20$ Teilnehmern. Ajovalasit und Giacomini [150] untersuchten die Wahrnehmung von Lenkradbeschleunigungsreizen des Menschen, mit einer Stichprobe $n = 20$. Newberry, Griffin und Dowson [84] führen zur Schwellwerterkennung des Menschen Experimente in verschiedenen Szenarien durch und verwenden dazu JND und eine Stichprobe von $n = 12$. Die Effektstärke wird mit einem Wert von $\rho = 0.375$ angenommen, weil von einem kleinen oder mittleren Effekt ausgegangen wird.

Unter Einbezug der Empfehlungen von Cohen [147] und Thompson [148] wird ein Datensatz zwischen 20 und 40 validen Teilnehmern angestrebt.

In dieser Untersuchung haben ausschließlich Probanden mit einem gültigen A oder A1 Führerschein teilgenommen, alle Teilnehmer sind Arbeitnehmer der BMW AG. Die Stichprobe besteht aus 40 Probanden (3 weiblich, 37 männlich) mit einem Alter von 31 bis 56 Jahren ($MW = 43.7$). Die Fahrerfahrung in Jahren beträgt bei 71% der Teilnehmer über 10 Jahre, der Rest hat eine Fahrerfahrung zwischen 5 bis 10 Jahren angegeben. In Tabelle 4.20 ist die Fahrerfahrung in km über die jeweilige Anzahl an Probanden enthalten.

Tabelle 4.20: Verteilung der Fahrerfahrung über die Anzahl der Probanden.

Fahrerfahrung und Anzahl an Teilnehmer						
km	1000 - 5000	5000 - 10000	10000 - 15000	15000 - 20000	20000 - 30000	30000 - 50000
<i>n</i>	14	4	10	4	5	6

Erfahrung mit der Motorradfahrsimulation haben vier Personen, diese wurden aus der Auswertung ausgeschlossen. 21 Teilnehmer haben Erfahrung mit der Pkw Fahrsimulation, die anderen haben bisher keine Erfahrungen mit Fahrsimulatoren gemacht.

Tabelle 4.21: G-Power Tabelle

Effektstärke ρ	α -Fehler	Teststärke $1-\beta$	Empfohlene Datensätze
0.375	0.05	0.8	40

Aufgrund eines Fehlers des NASA TLX Fragebogens werden die ersten acht Datensätze und vier weitere aus der Auswertung ausgeschlossen. Sie weisen Erfahrung am Motorradfahringsimulator auf. 28 valide Durchführungen werden für die Auswertung genutzt.

4.2.4 Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung der abhängigen Variablen, beschrieben in Kapitel 4.2.3 und Tabelle 4.17, erfolgt zunächst für die primäre Untersuchung zur Positionsrückmeldung und dem isometrischen Aufbau. Die Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt auf Basis der Hypothesen. Die statistische Auswertung wird mit einem Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ durchgeführt. Die Auswertung des sekundären Abschnitts erfolgt über eine Zuordnung der richtigen Konfigurationen zu den möglichen Antworten.

Mentale Beanspruchung

Abbildung 4.14 zeigt die mentale Beanspruchung für die Konzepte isometrische und Positionsrückmeldung mit und ohne Nebenaufgabe mit den dazugehörigen Verteilungen in Tabelle 4.22.

Die Signifikanzprüfung erfolgt anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen. Nach Field [151] müssen folgende fünf Kriterien erfüllt sein:

- 1 Die unabhängige Variable mentale Beanspruchung muss intervallskaliert sein.
- 2 Die Faktoren sind kategorial.
- 3 Die gebildeten Gruppen sind unabhängig.

Tabelle 4.22: Mentale Beanspruchung mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.

Nebenaufgabe	Konzept	Mittelwert \bar{x}	Standardabweichung σ	Median \tilde{x}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
Ohne	Isometrisch	30.5	3.5	26.2	5.0	70.0
	Positionsrückmeldung	37.3	3.6	34.5	10.0	80.0
Mit	Isometrisch	49.6	3.5	47.1	15.0	90.0
	Positionsrückmeldung	50.8	2.9	48.8	30.0	85.0

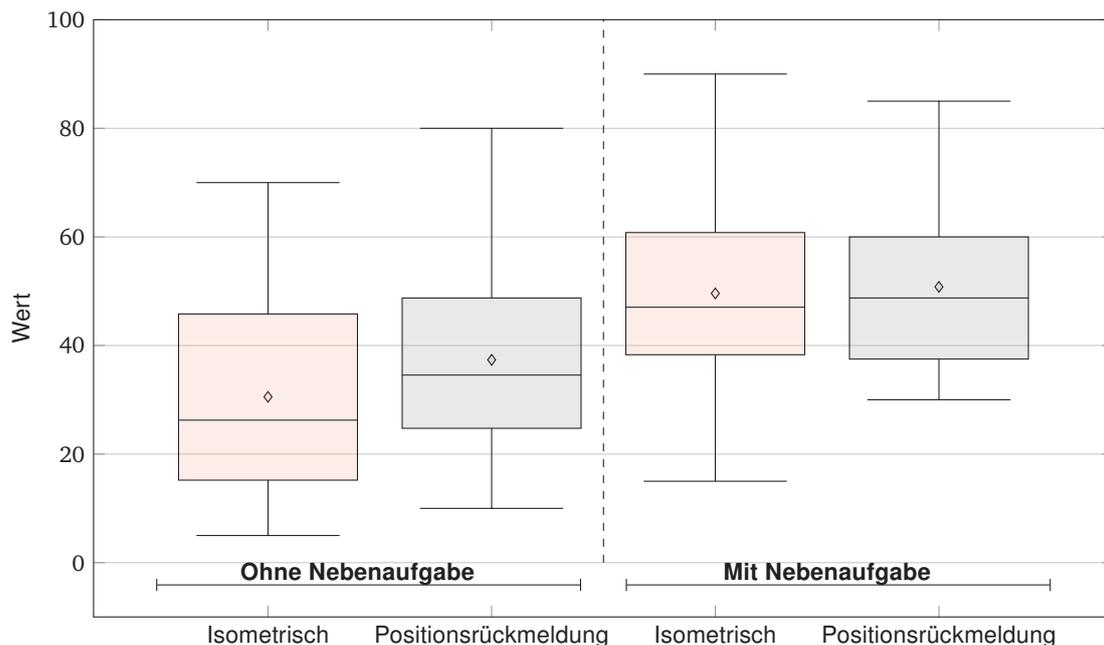


Abbildung 4.14: Darstellung der mentalen Beanspruchung für die Lenkkonzepte isometrisch und Positionsrückmeldung mit und ohne Nebenaufgabe, erfasst anhand des NASA TLX.

- 4 Die abhängige Variable ist innerhalb der Gruppe normalverteilt oder mehr als 25 gültige Datensätze sind vorhanden.
- 5 Es befinden sich keine Ausreißer in den Gruppen.
- 6 Varianzhomogenität bzw. Varianzgleichheit in den Gruppen muss vorhanden sein.

Die Voraussetzungen eins bis vier sind erfüllt durch die gewählte Messmethode (NASA-TLX), dem Studiendesign sowie den daraus resultierenden Faktoren und der Stichprobengröße. Die fünfte Voraussetzung ist erfüllt, weil keine Ausreißer vorhanden sind (Abbildung 4.14). Voraussetzung 6 ist aufgrund des durchgeführten Tests der Homogenität nach Levene ($F=0.6$, $df = 4$ $df_2 = 123$ $p = 0.664$) erfüllt.

Die ANOVA zeigt für die Konfigurationen der Lenkungen keinen Effekt ($F = 1.98$ $p = 0.169$). Die Nebenaufgabe zeigt einen hohen signifikanten Effekt ($F = 68.27$, $p = 0.000$), diese Auswertung wurde der Vollständigkeit halber gemacht. Es konnte auch kein Interaktionseffekt festgestellt werden ($F = 1.42$, $p = 0.242$).

Basierend auf den Ergebnissen wird die Nullhypothese H_{0A} nicht verworfen.

Tabelle 4.23: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0A}	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.	Angenommen

Mittelwert des Lenkmomentes

Die statistische Untersuchung erfolgt anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen, die beschriebenen Voraussetzungen in Kapitel 4.2.4 werden überprüft.

Tabelle 4.24: Mittelwert des Lenkmomentes, mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.

Neben-aufgabe	Konzept	Mittelwert \bar{X} N m	Standard-abweichung σ N m	Median \tilde{X} N m	Unteren Whisker N m	Oberen Whisker N m
Ohne	Isometrisch	0.81	0.41	0.8	0.55	0.9
	Positionsrückmeldung	0.80	0.40	0.81	0.78	0.88
Mit	Isometrisch	0.71	0.79	0.72	0.56	0.9
	Positionsrückmeldung	0.77	0.55	0.78	0.62	0.9

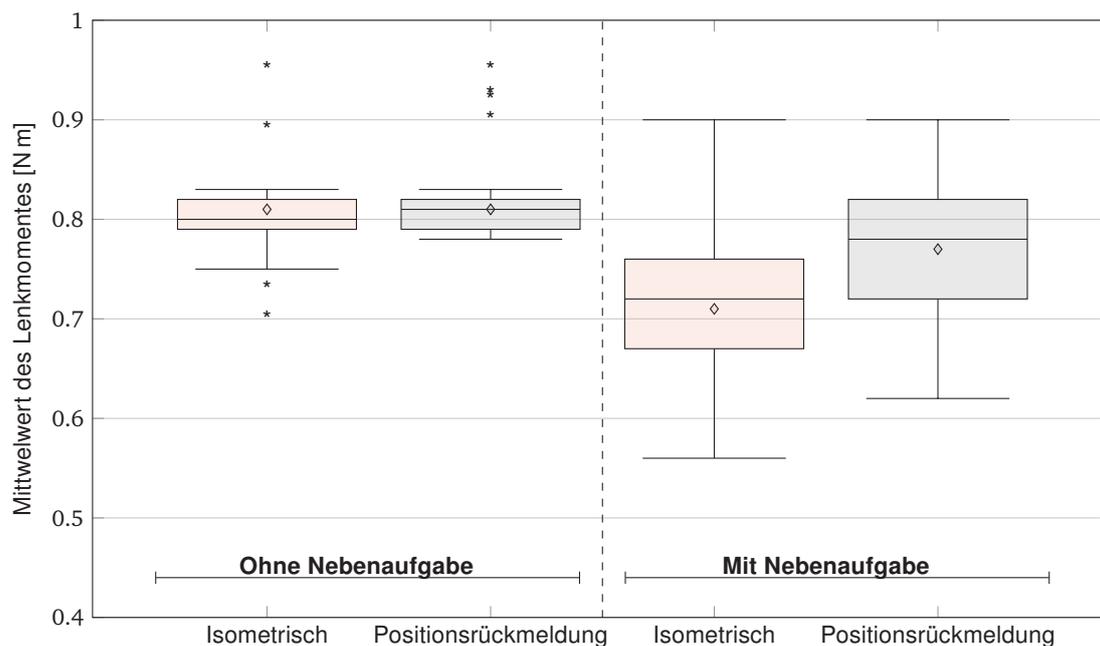


Abbildung 4.15: Verteilung des Mittelwertes vom Lenkmoment für beide Konzepte und mit sowie ohne Nebenaufgabe.

Die Voraussetzungen eins bis vier sind durch das gewählte Messmittel, das Studiendesign, den Faktoren und der Stichprobengröße erfüllt. Die fünfte Voraussetzung ist aufgrund von Ausreißern für beide Lenkungen ohne Nebenaufgabe nicht erfüllt (Abbildung 4.15). Die sechste Voraussetzung erfordert eine Homogenität der Varianten. Diese wurde anhand des Levene-Tests überprüft mit dem Ergebnis, dass keine Homogenität in den Gruppen vorhanden ist ($F = 24.66$, $p = 0.000$). Daher wird der nichtparametrische Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test bei verbundenen Stichproben verwendet. Für die Gruppe ohne Nebenaufgabe ist kein Unterschied vorhanden ($p = 0.993$). Damit ist die Hypothese anzunehmen. Für die Gruppe mit Nebenaufgabe ist ein signifikanter Unterschied vorhanden ($p = 0.004$).

Basierend auf diesen Ergebnissen wird die Nullhypothese abgelehnt (Tabelle 4.25).

Tabelle 4.25: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0B}	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Mittelwert des Lenkmomentes	Abgelehnt

Rollraten

Die statistische Untersuchung erfolgt anhand einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen, die beschriebenen Voraussetzungen in Kapitel 4.2.4 werden überprüft.

Tabelle 4.26: Mittelwert der Rollraten, mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.

Nebenaufgabe	Konzept	Mittelwert $\bar{X} \frac{^\circ}{s}$	Standardabweichung $\sigma \frac{^\circ}{s}$	Median $\tilde{X} \frac{^\circ}{s}$	Unteren Whisker $\frac{^\circ}{s}$	Oberen Whisker $\frac{^\circ}{s}$
Ohne	Isometrisch	-0.008	0.041	-0.0045	-0.03	0.01
	Positionsrückmeldung	-0.005	0.040	-0.003	-0.045	0.029
Mit	Isometrisch	0.007	0.071	0.007	0.056	0.09
	Positionsrückmeldung	-0.006	0.055	-0.008	-0.03	0.019

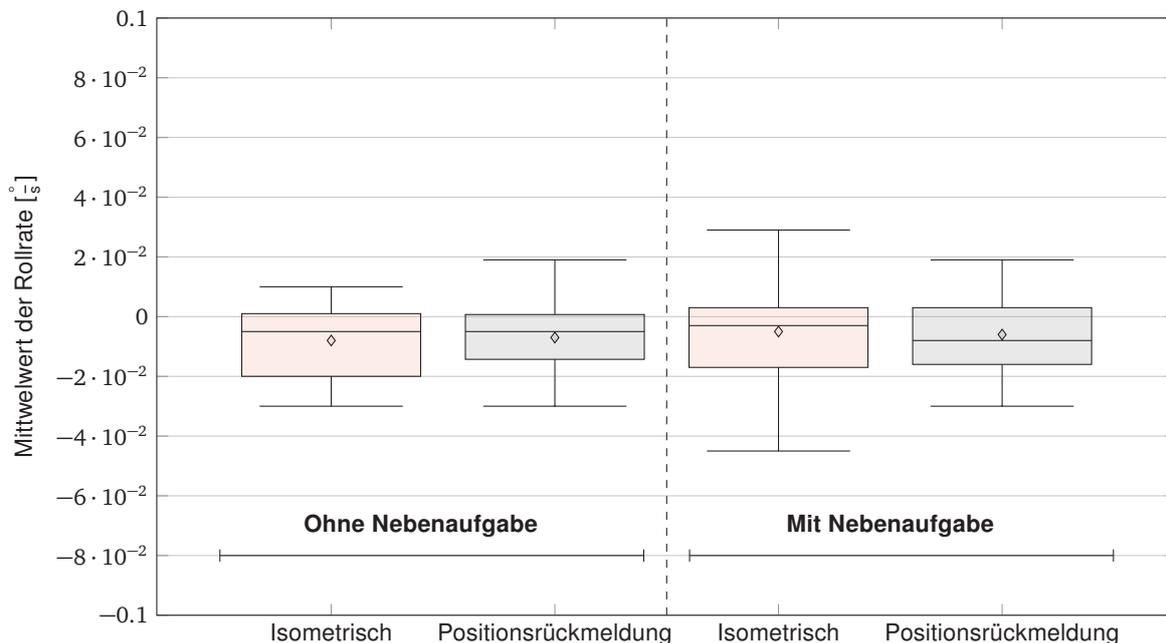


Abbildung 4.16: Darstellung der Rollraten für die Lenkkonzepte isometrisch und Positionsrückmeldung mit und ohne Nebenaufgabe.

Die Voraussetzungen eins bis fünf sind durch das gewählte Messmittel, das Studiendesign, die Faktoren, der Stichprobengröße und dem erwarteten Streubereich um die Erwartungswerte erfüllt. Voraussetzung sechs ist erfüllt, ermittelt anhand des Leven-Tests ($F = 0.422$, $p = 0.738$). Die zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung zeigt keinen signifikanten Unterschied in der Rollrate beim Faktor Lenkkonfigurationen ($F = 0.07$, $p = 0.933$). Auch der Faktor Nebenaufgabe ist nicht signifikant ($F = 1.19$, $p = 0.282$). Basierend auf diesem Ergebnis wird die Nullhypothese angenommen (Tabelle 4.27).

Tabelle 4.27: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0c}	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in den Rollraten	Angenommen

Lenkgefühl

Die Auswertung des Lenkgefühls erfolgt für einen Faktor mit Messwiederholungen anhand des t-Tests. Die Voraussetzungen sind in Kapitel 4.2.4 beschrieben.

In Tabelle 4.28 sind die Mittelwerte, der Median, die Standardabweichung und die Signifikanz dargestellt. Die Fragen entsprechen der Auflistung eins bis sechs aus Kapitel 4.2.3.

Tabelle 4.28: Verteilung der Antworten zum Lenkgefühl.

Frage	Faktor	Mittelwert	Std. Abweichung	Median	Signifikanz
1	Isometrisch	2.1	0.7	2.0	0.208
	Position	2.4	0.7	2.0	
2	Isometrisch	2.2	0.8	2.0	0.266
	Position	2.4	0.8	2.0	
3	Isometrisch	2.5	0.8	2.0	0.054
	Position	2.8	0.7	3.0	
4	Isometrisch	2.3	0.9	2.5	0.561
	Position	2.5	0.7	3.0	
5	Isometrisch	2.0	0.6	2.0	0.521
	Position	2.3	0.7	2.0	
6	Isometrisch	1.7	0.7	2.0	0.099
	Position	1.8	0.8	2.0	

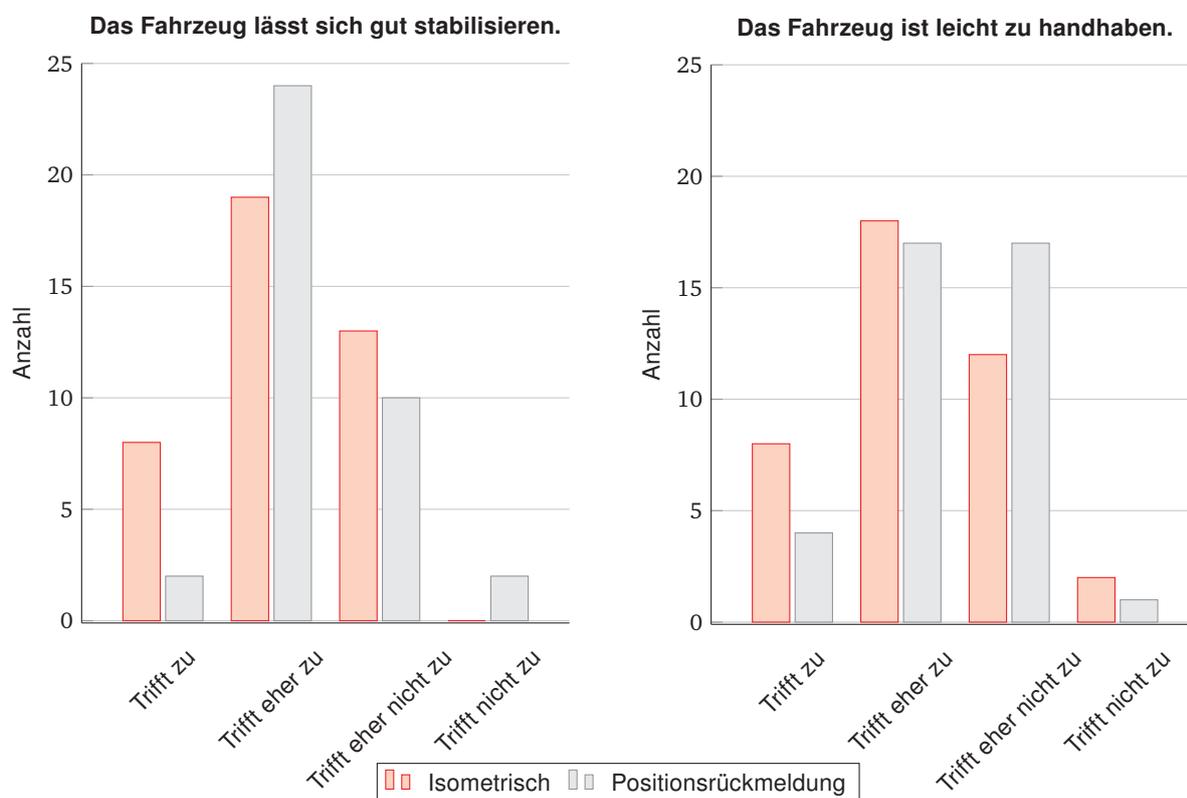


Abbildung 4.17: Histogramm der Fragen 1 und 2 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl.

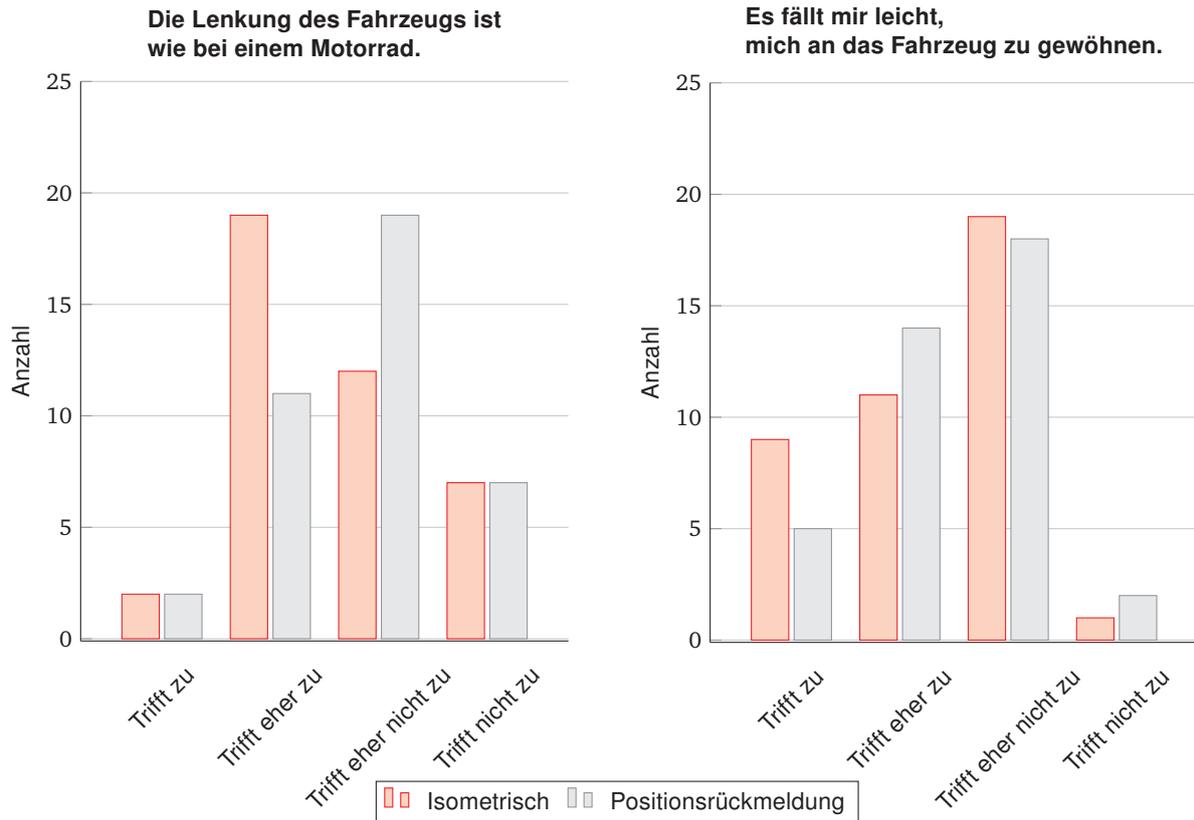


Abbildung 4.18: Histogramm der Fragen 3 und 4 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl.

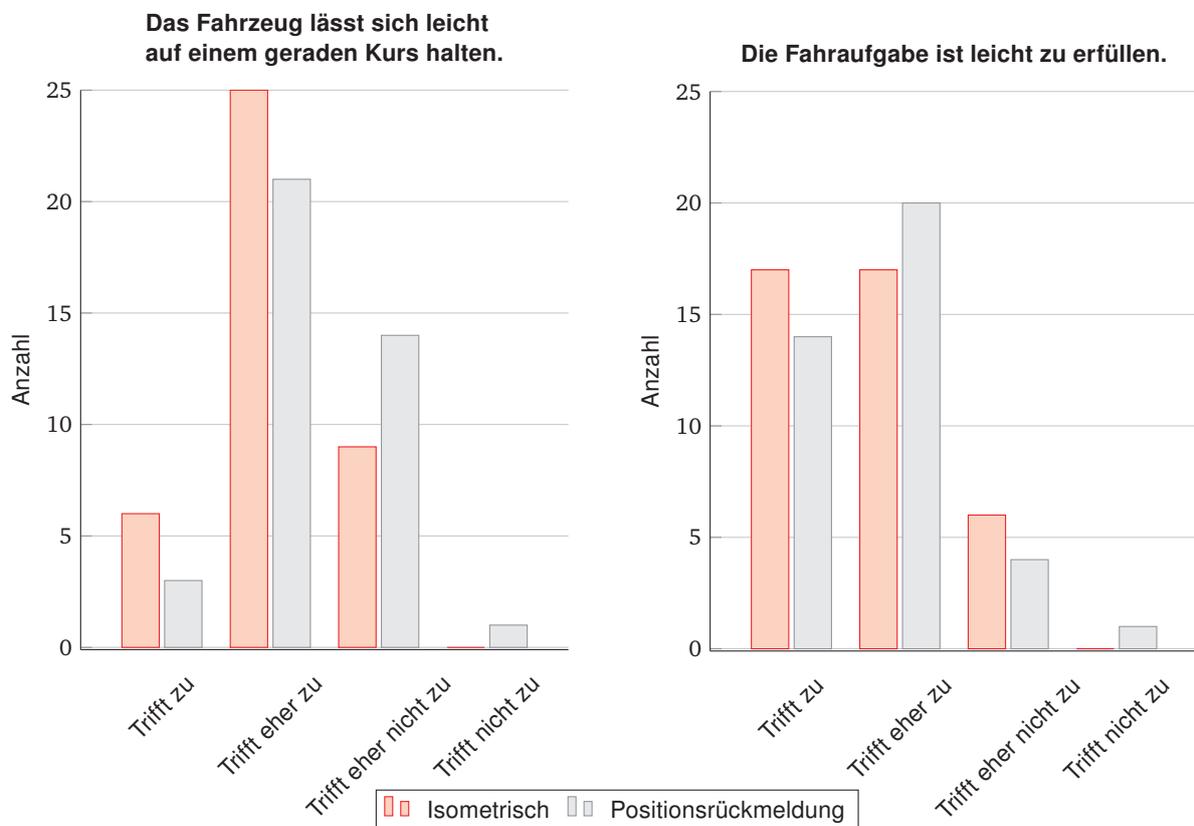


Abbildung 4.19: Histogramm der Fragen 5 und 6 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl.

Die Voraussetzungen eins bis vier für den t-Test sind durch das Messmittel, das Studiendesign, sowie der unabhängigen Gruppen und der Stichprobengröße erfüllt. Voraussetzung fünf, die eine Normalverteilung erfordert, ist verletzt. Dies wurde anhand des Welch-Tests ermittelt. Die Auswertungen sind in der nachfolgenden Auflistung enthalten.

Welch-Test

- 1 Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren. (F = 2.4, p = 0.129)
- 2 Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben. (F = 0.9, p = 0.344)
- 3 Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei einem Motorrad. (F = 3.2, p = 0.077)
- 4 Es fällt mir leicht, mich an das Fahrzeug zu gewöhnen. (F = 0.6, p = 0.433)
- 5 Das Fahrzeug lässt sich leicht auf einem geraden Kurs halten. (F = 2.9, p = 0.094)
- 6 Die Fahraufgabe ist leicht zu erfüllen. (F = 0.4, p = 0.494)

Damit wird die Nullhypothese verworfen. Alle Daten sind nicht normalverteilt. Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz wird der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt.

Mann-Whitney-U-Test

- 1 Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren. (p = 0.208)
- 2 Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben. (p = 0.266)
- 3 Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei einem Motorrad. (p = 0.054)
- 4 Es fällt mir leicht, mich an das Fahrzeug zu gewöhnen. (p = 0.561)
- 5 Das Fahrzeug lässt sich leicht auf einem geraden Kurs halten. (p = 0.521)
- 6 Die Fahraufgabe ist leicht zu erfüllen. (p = 0.099)

Basierend auf diesen Ergebnissen wird die Nullhypothese angenommen, weil keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden konnten (Tabelle 4.29).

Tabelle 4.29: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0D}	Bei den Lenkkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Lenkgefühl.	Angenommen

Sekundäre Betrachtung

Die Antworten zu den einzelnen Fragen können im Anhang C nachgeschlagen werden.

Das Ziel der sekundären Betrachtung ist es, zu ermitteln, ob die Lenkkonfigurationen isometrisch, Positionsrückmeldung und invertierte Positionsrückmeldung bemerkt werden. Frage 1 ist ein Kommentarfeld.

Frage 2: „Welche Abschnitte waren gleich?“. Diese Frage haben insgesamt zehn Probanden richtig beantwortet und erkannt, dass alle Abschnitte eine unterschiedliche Rückmeldung aufwiesen.

Die gegenteilige Formulierung, Frage 3 „Welche Abschnitte waren unterschiedlich?“ Die richtige Antwort wurde von denselben zehn Probanden ausgewählt.

Frage 4 „Wie würden Sie die Lenkerbewegung charakterisieren?“ Die Antwortmöglichkeit entgegengesetzt, bewegungslos, zu steif übertrieben, realistisch und zu nachgiebig. Die Auswahl erfolgte anhand eines Schiebereglers und dem Zuordnen des jeweiligen Abschnittes. Zu beachten ist, dass Abschnitt drei immer als invertierte Positionsrückmeldung absolviert wurde. Die Zuordnung der entgegengesetzten Positionsrückmeldung wurde von zwei Probanden richtig angegeben, 13 gaben realistisch und 16 zu steif an.

Fragebogen zur Simulatorkrankheit

Die Auswertung des SSQ bezweckt, unter anderem für die Nutzung für weitere Studien, eine langfristige Beobachtung des Verlaufs. Die endgültige Auswertung wird in Kapitel 5 durchgeführt und diskutiert.

Tabelle 4.30: Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen.

	Übelkeit	Okulomotorik	Desorientierung	Gesamtscore
Median	09.54	15.16	13.92	11.22
Mittelwert	16.21	15.91	17.05	13.37
Standardabweichung	17.84	13.16	21.72	11.45

4.2.5 Diskussion

Das Ziel in dieser Untersuchung ist es, zu ermitteln, ob eine isometrische Lenkung in der Motorradfahrsimulation angewandt werden kann oder ob die Rückmeldung des Lenkwinkels in der Motorradfahrsimulation notwendig ist. Zunächst wurde der Hauptfahrbereich Methodenuntersuchungen für ABK beschrieben. Daraus geht hervor, dass Untersuchungen sich auf geeignete Fahrscenarien beschränken, wie beispielsweise auf die Ermittlung der Fahrerleistung, auf die Ablenkung oder situative Aufmerksamkeit. Eine weitere Betrachtung erfolgt im Bezug der haptischen Rückmeldung des geringen Lenkwinkels, dargestellt in Abbildung 2.9. Miličić [29] beschreibt, dass die Validität im Bezug zur Fahraufgabe hinreichend erfüllt werden muss, damit Untersuchungen zu ABK durchgeführt werden können. Nachdem in Kapitel 4.1 die Kraftvorgabe dem regelbasierten Verhalten zugeordnet werden konnte, wird ermittelt, ob der Lenkwinkel eine Notwendigkeit besitzt. Zur Beantwortung dieser Fragestellung werden die Hypothesen in Tabelle 4.17 gebildet, die in den nachfolgenden Unterkapiteln diskutiert werden.

Diskussion mentale Beanspruchung

Die mentale Beanspruchung ist eine Leistungsfunktion des menschlichen Informationsverarbeitungssystems, welches das subjektive Gefühl der Anstrengung für eine geistige Leistung liefert [152]. In der Fahrsimulation wird diese herangezogen um Einflüsse auf den Menschen, wie zum Beispiel auf die Fahrsicherheit, zu bewerten [80, S. 12-13]. De Waard und Brookhuis [37] unterteilen dazu in die Bereiche Unterforderung, Herausforderung und Überforderung nach [80, S. 11-12]. Daher sollten Messungen mit und ohne Nebenaufgabe, bei denen eine andere mentale Beanspruchung erwartet wird, eine Trennschärfe aufweisen, die anhand eines statistischen Tests ermittelt werden kann. Buschardt [39, S. 248-251] schreibt, dass synthetische Lenkungen oder Lenkmomente durch eine Anpassung des Lenkverhaltens die Fahrerbeanspruchung beeinflussen können und eine Bewertung des Fahrer-Fahrzeug-Gesamtsystems durchgeführt werden sollte.

Dazu wurden die Faktoren Lenkung und Nebenaufgabe gebildet. Der Faktor Lenkung besteht aus der isometrischen- und positionsrückmeldenden Lenkung. Der Faktor Nebenaufgabe sagt aus, ob mit oder ohne Nebenaufgabe getestet wird. Für den Faktor Lenkung wird kein signifikanter Unterschied festgestellt (Abbildung 4.14). Die Studienleiter berichteten, dass die beobachtete Fahraufgabe bei allen Probanden erfolgreich durchgeführt werden konnte und keine Unterschiede des Fahrverhaltens mit und ohne Nebenaufgabe auftraten. Kritisch betrachtet wird, dass das Fahrscenario aus einer Fahrt auf der Autobahn bestand. Zukünftige Untersuchungen sollten die Grundfahraufgabe Spurwechsel mitaufnehmen und die mentale Beanspruchung dafür ermitteln. Zum einen erfordert die Methode Spurwechsel-Test einen Spurwechsel, der hinsichtlich der mentalen Beanspruchung näher betrachtet werden sollte, und zum anderen treten die Lenkverhaltensweisen antizipatorische Steuerung und kompensatorische Lenkung auf, die es festzustellen gilt. Beim Übergang von kompensatorischer Lenkung zu antizipatorischer Steuerung muss laut Buschardt ein Unterschied in der mentalen Beanspruchung vorhanden sein, den es zu ermitteln und bewerten gilt. Diese Art der Untersuchung kann auch zur Bewertung der Validität eines Fahrsimulators herangezogen werden, wenn diese Verhaltensweise mit der Realität vergleichbar ist.

Eine Beobachtung war, dass alle Probanden berichtet haben, dass die Erfüllung der Fahraufgabe mit der Nebenaufgabe leichter fällt. Die vorliegende Information gibt einen Hinweis auf die Verhaltensebene des auf Fertigkeiten basierenden Verhaltens. Wie bereits in Kapitel 2.2.2 und 4.1 beschrieben, sind Automatismen erlernte Verhaltensweisen, die zu einer unterbewussten motorischen Abfolge führen. Daher können diese Aussagen in Verbindung mit der erfolgreichen Erfüllung der Fahraufgabe als fertigkeitsbasiertes Verhalten für beide Lenkkonzepte gewertet werden.

Die Cognitive Load Theory (CLT) - auch kognitive Belastung nach Plass, Moreno und Brünken [153] genannt - beschreibt, dass ein Lernvorgang mit einer kognitiven Belastung erfolgt, wodurch das zu Erlernende leichter oder schwerer fällt bzw. sich die Lernleistung ändert. Sie unterscheiden in zwei Belastungen, die sich auch in der Art der Lernmethode unterscheiden: Auswendiglernen und Verständnislernen. Anders als beim Verständnislernen, das zu einer hohen Belastung führt, tritt beim Auswendiglernen eine niedrige kognitive Belastung auf. Verknüpft man diese Art des Verständnislernen mit den drei Verhaltensebenen nach Rasmussen [33], besteht die Möglichkeit, dass die hohe kognitive Belastung (mit Nebenaufgabe) einen Lernerfolg zur Folge hat und damit zu einem neuen Automatismus am Fahrsimulator führt. Untersucht werden könnte, ob ein neuer Automatismus erlernt wird oder die fehlende vestibuläre Wahrnehmung extrapoliert wird, um die Stabilisierung unterbewusst auszuführen.

Mittelwert des Lenkmoments

Die Auswertung des Mittelwerts des Lenkmoments stellt eine objektive Größe dar, die aus dem Lenkverhalten des Probanden resultiert. In diesem sind zeitliche Information zur Dauer der Interaktion enthalten und können zur Bewertung der aufgebrauchten Kraft genutzt werden. Zusätzlich ermöglicht die Messung, Unterschiede zu ermitteln, die aus einer reinen subjektiven Erhebung keine Informationen liefern. In Abbildung 4.15 ist zu sehen, dass der Mittelwert ohne Nebenaufgabe zu keinem signifikanten Unterschied in der Interaktion geführt hat. Auch der Interquartilsabstand ist gleich. Für die Untersuchung mit Nebenaufgabe wurde ein signifikanter Unterschied, mit einem Unterschied im Median von $\tilde{X}_{PMN} = 0,06 \text{ N m}$ ermittelt. Gleich geblieben ist auch der Interquartilsabstand, eine Änderung in der Standardabweichung von $\sigma_{PMN} = 0,24 \text{ N m}$ konnte ermittelt werden. Nach Buschardt [39] und Wolf [56] werden Änderungen im

Lenkmoment erst ab 0,8 Nm durch den Menschen wahrgenommen. Daher wird vermutet, dass die zeitlich unterschiedliche Interaktion unterbewusst ausgeführt worden ist. Vergleicht man den Interquartilsabstand ohne und mit Nebenaufgabe ist zu sehen, dass bei Anwendung einer Nebenaufgabe gegenüber der Messung ohne Nebenaufgabe ein drei Mal größerer Abstand auftritt. Das kann über eine Interferenz der Aufgabe begründet werden, welche der Proband zu erfüllen versucht, um eine Reaktionsänderung herbeizuführen.

Unter Berücksichtigung der Aussagen der Probanden beschrieben in Kapitel 4.2.5, besteht die Möglichkeit, dass ein größerer Interquartilsabstand einen Hinweis auf antizipatorische Steuerung liefert. Wie bereits Baumgarten et al. [137] beschreiben, kann der Mittelwert des Lenkmomentes Informationen zur Ermittlung von Müdigkeitsanzeichen genutzt werden. Methodisch betrachtet, könnte der Mittelwert des Lenkmomentes Informationen zur Aktivität und damit einen Hinweis zur Verhaltensebene geben.

Mehrjerdian [154, S. 65-77] untersuchte den Einfluss eines zusätzlichen Lenkmoments auf das Fahrerverhalten. Dazu nutzte er den Lenkwinkel bzw. das Lenkwinkelband um zu ermitteln, ob der Proband mit der Lenkaufgabe überfordert ist. Zusätzlich konnte er die Fahrer anhand des Mittelwerts des Lenkmomentes als ruhigen, normalen oder dynamischen Fahrer klassifizieren. Dieses Vorgehen könnte zusammen mit der Empfehlung zur Ermittlung, ob Probanden am Fahrsimulator ein fertigkeitbasiertes Verhalten aufweisen, übertragen werden.

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben, ist ein idealer isometrischer Aufbau nicht möglich, weil immer eine Steifigkeit und damit eine Torsion der Lenkachse auftritt. Untersucht werden könnte, ob die Torsion, bzw. die Lenkwinkeländerung einen Einfluss auf den Mittelwert des Lenkmoments besitzt. Unterschiedliche Steifigkeitswerte im Vergleich zu einer Positionsrückmeldung könnten untersucht werden, um zu ermitteln, ob signifikant unterschiedliche Mittelwerte des Lenkmoments auftreten.

Diskussion Rollrate

Aufgrund der von Pless et al. [18] beschriebenen Lenk-Roll-Kopplung hat eine Interaktion mit dem Lenker einen Einfluss auf die Rollrate des Fahrzeugs. Magiera [59, S. 35-36] nutzte diese Information, um Motorradfahrer in Fahrerfertigkeitssklassen einzuteilen. In Kapitel 2.2.3 wird die Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe beschrieben. Die Stabilisierung wird durch korrigierende Stelleingriffe des Fahrers durchgeführt. Korrekturen, die auf ein unterschiedliches Lenksystem zurückzuführen sind, können im Mittelwert der Rollraten ermittelt werden.

In Abbildung 4.16 sind die Verteilungen der Mittelwerte bei den Rollraten dargestellt. Zu sehen ist, dass die Verteilungen, Mediane und Mittelwerte für alle Durchführungen ähnlich sind. Die statistische Auswertung konnte keine signifikanten Unterschiede feststellen. Da Magiera [59] die Fahrfertigkeit klassifizierte, besteht die Möglichkeit, dass die hier erzielten Ergebnisse lediglich nachweisen, dass die Fahrfertigkeit für alle Durchführungen ausreichend war. Positiv zu betrachten ist, dass beide Lenkungen, keine Unterschiede in den Fahrfertigkeiten der Probanden aufweisen.

Diskussion Lenkgefühl

Die Erfassung des Lenkgefühls anhand eines Fragebogens kann Hinweise auf die Güte, also die Kategorie der Items, geben. Es konnten keine signifikanten Unterschiede für alle Items ermittelt werden. In Kapitel 4.2.3 wurde die Bewertungsskala als gerade Einteilung gewählt, um

Tendenzen in der Lenkung zu ermitteln. In Tabelle 4.28 sind dafür die Mittelwerte und Mediane enthalten. Bei allen Items weist der Mittelwert einen geringeren Wert für den Faktor isometrische Lenkung auf. Die geringste Differenz beträgt 0,1 und die größte 0,3. Der Median wiederum, der aufgrund der fehlenden Normalverteilung und dem gewählten nichtparametrischen Test die Grundlage bildet, weist nur für die Frage drei und vier unterschiedliche Werte auf, die zunächst diskutiert werden.

1. Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren.

Frage eins dient der Ermittlung des subjektiven Eindrucks zur Stabilisierung des Fahrzeugs. Neben der Rollrate, die eine objektive Messgröße ist, ermöglicht diese Fragestellung eine Bewertung, wie gut sich das Fahrzeug stabilisieren lässt. Die isometrische Lenkung wurde im Mittelwert 2.1 mit 0.3 besser bewertet, zu sehen in Tabelle 4.28. Auch die häufigere positive Bewertung im Histogramm 4.17 für beide Lenkungen zeigt, dass die Stabilisierung gut erfolgte. Zu beachten ist, dass der Rollwinkel, der vermutlich einen Einfluss auf die Wahrnehmung der geplanten Route hat, das Gefühl der Stabilisierung vermittelt - zumindest in der Realität. In der Motorradfahrsimulation wird der visuelle Rollwinkel und die aktuelle Position auf der Fahrbahn kombiniert, um die Transportaufgabe zu erfüllen. Negative Bewertungen können auf das fehlende Gefühl der Instabilität, ermittelt anhand der vestibulären Wahrnehmung beim Menschen, zurückgeführt werden. Vermutlich wird die Bewertung der Instabilität anhand der Frage bei höher dynamischen Szenarien und Kurvenfahrten schlechter sein.

2. Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben.

Frage zwei bewertet die Handhabung des Fahrzeugs. Sie beschreibt, wie einfach diese wahrgenommen wird, damit der Fahrer oder Proband in bekannten Situationen wiedererkennend handelt, das dem fertigkeitbasierten Verhalten zugeordnet werden kann [142, S. 19-20]. Auch die Bewertung der Handhabung weist keine signifikanten Unterschiede auf. Beide Mittelwerte unterscheiden sich mit 0.2 Punkten, wobei die Mediane und die Standardabweichung gleich bewertet sind. Insgesamt überwiegt die positive Bewertung gegenüber und weist keine Unterschiede auf. Daher wird angenommen, dass die Handhabung gleich gut stattfindet. Diese Frage kann bei der Entwicklung von dynamischen Motorradfahr simulatoren herangezogen werden, um eine Verbesserung des Gesamtsystems zwischen dem Mensch und der Maschine durchzuführen.

3. Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei einem Motorrad.

Frage drei, die zum einen unterschiedliche Mediane aufweist und zum anderen fast schwach signifikant bewertet worden ist ($p = 0.0561$), bezieht sich explizit auf die Bewertung, ob die Lenkung, wie bei einem Motorrad ist. Die isometrische Lenkung weist neben dem größten Unterschied im Mittelwert von 0.3 auch eine Tendenz im Median von 1.0, „ist eher wiedererkennend mit einem Motorrad“, bewertet worden.

4. Es fällt mir leicht, mich an das Fahrzeug zu gewöhnen.

Frage vier hat das Ziel, zu ermitteln, ob die Gewöhnung an eine der Lenkungen einfacher fällt. Die unterschiedlichen Mediane lassen sich auf die häufigere Bewertung *Trifft zu* bei der isometrischen Lenkung zurückführen. Dennoch muss kritisch betrachtet werden, dass die häufigsten Bewertungen bei beiden Lenkungen auf *Trifft eher nicht zu* stattfanden. Anmerkend zu beachten ist, dass eine Bewertung wie: *Es fällt mir leicht mich an das Fahrzeug zu gewöhnen* nicht als absoluten Wert gesehen werden kann, weil die Fragestellung auch andere Reize berücksichtigt, die bei einem statischen Simulator nicht vorhanden sind.

5. Das Fahrzeug lässt sich auf einem geraden Kurs halten.

Frage fünf wird bei Untersuchungen von Entwicklungsfahrzeugen zu einem Bezugsfahrzeug

verwendet. Deppermann [143] arbeitete diese Frage aus, um Weiterentwicklungen zur Verbesserung des Geradeauslaufs zu bewerten. Der Geradeauslauf kann die Stabilisierungsebene negativ beeinflussen, weil es dazu kommen kann, dass der Proband bewusst einen Regelleingriff zur Stabilisierung durchführt, was bedeutet, dass die Ebene des fertigkeitsbasierten Verhaltens nicht erreicht wird. In Abbildung 4.19 ist zu sehen, dass die isometrische Lenkung über die Häufigkeit besser bewertet worden ist. Studien aus dem Zweispursegment zeigen, dass steife Lenkungen die Präzision bei der Fahraufgabe erhöhen können oder zumindest die Wahrnehmung diesbezüglich [12, S. 12-14] [155, S. 75-77]. Diese Frage eignet sich gut, um die Weiterentwicklung von Lenkungen bei Fahrsimulatorstudien zu bewerten, sollte aber anhand objektiver Größen, die zu einer Verbesserung führen, belegt werden.

6. Die Fahraufgabe ist leicht zu erfüllen.

Frage sechs, die der Bewertung des Erfüllungsgrads der Fahraufgabe zugeordnet ist. Erfasst mit welcher Konfiguration die Lenkung zu einer besseren subjektiven Erfüllung der Fahraufgabe führt. Die Unterschiede im Mittelwert sind 0.1, im Median liegt kein Unterschied vor, wobei die Signifikanz bei 0.09 liegt. Gut zu sehen in Abbildung 4.19 ist, dass die Bewertungen ähnlich erfolgten und die Positionsrückmeldung häufiger mit *Trifft eher nicht zu* und *Trifft nicht zu* bewertet worden ist. Dennoch sollte das nicht zu stark gewichtet werden, weil die positiven Bewertungen häufiger auftraten.

Die Nutzung eines Lenkgefühl-Fragebogens für die Motorradfahrsimulation wird in dieser Untersuchung erstmals angewandt. Die hier verwendeten Fragen, basieren auf validierte Fragestellungen für Normalfahrer oder Normalprobanden [39, S. 200-225]. Um die Interaktion und die Wahrnehmung des Menschen im Kontext der Motorradfahrsimulation besser zu verstehen, sollte ein validierter Fragebogen dediziert für das Lenkgefühl in der Motorradfahrsimulation entwickelt werden. In dieser Studie wird in Kapitel 4.2.3 ein Vorschlag, zur Erstellung dieses Fragebogens erbracht. Ein weiteres Problem bei dieser Untersuchung ist die geringe Anzahl der Probanden ($n = 32$). Für keine Frage konnte eine Normalverteilung festgestellt werden (Tabelle 4.2.4). Möglicherweise tritt eine Trennschärfe bei einer größeren Stichprobe auf, um signifikante Einflüsse zu ermitteln. Die Annahme basiert auf der durchgehenden tendenziellen besseren Bewertung des isometrischen Aufbaus, ersichtlich aus dem geringeren Mittelwert in Tabelle 4.28. Aus wissenschaftlichem Interesse sollte die Forschung im Bereich des Motorrad-Lenkgefühls und dem Verständnis der Mensch-Maschine-Interaktion gestärkt werden, damit Synergieeffekte zwischen der virtuellen Umgehung und der Realität für die Entwicklung von Motorradfahrern entstehen.

Insgesamt wird für den Abschnitt Lenkgefühl, trotz der kritischen Betrachtung, kein Unterschied zwischen einer isometrischen und positionsrückmeldenden Lenkung festgestellt.

Ganzheitliche Diskussion

Wie bereits Popov, Rowell und Meijaard [21] erkannten, sollten Studien zu Fahrverhaltensuntersuchungen bei der Führung eines Einspurfahrzeugs durchgeführt werden, um zukünftig auf dem Gebiet der Motorradfahrsimulation die Weiterentwicklung zu unterstützen. Wie bereits in Kapitel 2.5 beschrieben, befasst sich diese Untersuchung mit der Notwendigkeit und damit verbunden mit der Wahrnehmung des Lenkwinkels auf einem Motorradfahrsimulator. Eine mögliche Notwendigkeit ist begründet, wenn signifikante Unterschiede vorliegen bei der mentalen Beanspruchung, im Mittelwert des Lenkmoment, bei den Rollraten und im Lenkgefühl. Ohne dem Ziel eine Gewichtung einzuführen, stellt die mentale Beanspruchung einen wichtigen Aspekt dar. Bei zukünftigen Studien sollte die mentale Beanspruchung bei einer Übungsfahrt

auf einer Autobahn erfasst werden, um mögliche Interaktionseffekte zwischen Trainingsroute und Untersuchungsroute zu vermeiden. Beide Konfigurationen weisen die gleichen statistischen Werte und Verteilungen auf. Damit kann aus der Perspektive der kognitiven Belastung von einer Gleichheit ausgegangen werden. Proband 16 schreibt: „ *Sehr interessant. Zunächst ungewohnt aber leicht einzugewöhnen. Normalfahrt Autobahn lernt sich schnell, auch Kurven. Spurwechsel sehr gewöhnungsbedürftig.*“ Diese Rückmeldung fasst die angeführte Diskussion zusammen. Die Probanden können sich schnell eingewöhnen, bemerken aber auch, dass Kurvenfahrten oder Spurwechsel zu einem ungewohnten Gefühl führen. Dies lässt sich über fehlende Reize wie Beschleunigungen begründen. Auch die objektive Messgröße Rollrate, bestätigt, dass keine signifikanten Unterschiede vorliegen. Damit erscheint die erlernte Fahrfertigkeit aus der Realität gleich bei beiden Lenkungen. Zu beachten ist, dass die Rollrate oder der Rollwinkel nicht durch den vestibulären Sinn wahrgenommen werden, sondern durch die visuelle Wahrnehmung. Vermutlich tritt eine Extrapolation auf Bahnführungsebene auf. Proband 15 schreibt: „*Lenkung grundsätzlich realistisch aber zu sensibel. Schwierig ohne Beschleunigungsgefühl auszutariieren.*“ Dieses Zitat beschreibt die Problematik eines statischen Motorradfahrersimulators. Die Sensibilität des Lenkers ist zurückzuführen auf die Lenk-Roll Kopplung. Sobald eine Interaktion stattfindet, beginnt das Fahrzeug entsprechend zu rollen. Diese geschieht auch in der Realität. Der Unterschied ist, dass Motorradfahrer den Rollwinkel ausgleichen und damit die Bewegung kompensieren. In allen Untersuchungen konnte beobachtet werden, dass es Probanden gibt, die den Rollwinkel ausgleichen, wie es in der Realität geschieht, oder fast bewegungslos sitzenbleiben. Damit werden Korrekturen auf Bahnführungs- und Stabilisierungsebene als sensibel wahrgenommen.

Die Ähnlichkeit der Rollraten im Kontext der Lenk-Roll-Kopplung und der signifikante Unterschied im Mittelwert des Lenkmoment mit Nebenaufgabe führt zu der Fragestellung, aus welchem Grund diese Effekte nicht in beiden Messgrößen enthalten sind. Aus den geringen Werten der Rollrate ist ersichtlich, dass es zu keinen häufigen starken Korrekturen kam, die in einem größeren absoluten Wert und Interquartilsabstand ersichtlich wären. Im Mittelwert des Lenkmomentes lässt sich die Häufigkeit und Dauer der Interaktionen anhand des Interquartilsabstandes erklären. Ein breiter Abstand kann Hinweise auf eine kognitive Beanspruchung liefern. Zwei Prozesse, die Erfüllung der Fahraufgabe und der Nebenaufgabe, konkurrieren um die kognitiven Ressourcen des Probanden. Objektiv betrachtet liegt ein Unterschied vor, den es gilt zu untersuchen, aber aus den Rollraten lässt sich keine häufigere Korrektur, die zu einer anderen Sensibilität führen kann, beobachten.

Das Gefühl der Lenkung hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Charakterisierung eines Fahrzeugs, wie in Kapitel 4.2.3 bereits beschrieben. Anhand dieser Methode sollte ermittelt werden, ob beide Konfigurationen in der Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe zu subjektiven Unterschieden führt. Proband 30 kommentiert: „ *Sehr interessantes Erlebnis. Nach Eingewöhnung relativ einfache Handhabung, erste Fahrt sehr empfindlich (Aufschaukeln), eher für mich unrealistisches Ansprechverhalten der Lenkung. Danach immer besser.* “ Der Kommentar lässt sich der Frage eins - empfindliche erste Fahrt, zwei - einfache Handhabung des Fahrzeugs, drei - unrealistisches Ansprechverhalten und vier sowie sechs - Gewöhnung, bis die Fahraufgabe besser erfüllt werden konnte, zuordnen. Damit erfasst der Fragebogen, zumindest bei diesem Probanden, fünf von sechs Fragen, die gestellt wurden. Daher kann angenommen werden zusammen mit den Begründungen bei der Erstellung, dass dieser Fragebogen zur Evaluierung geeignet ist. Für den isometrischen Aufbau wurde keine signifikanten Unterschiede ermittelt, die die Querführung, Stabilisierung, Handhabung, Gewöhnung, Wiedererkennung zu einem

Motorrad, Geradeauslauf und Erfüllung der Fahraufgabe beschreiben. Dennoch ist anzumerken, dass im Mittelwert der isometrische Aufbau besser bewertet worden ist.

Proband sechs kommentierte: „Für einen Motorradfahrer recht gewöhnungsbedürftig“. Proband zehn kommentierte: „Die mangelnde Schärfe macht ein weites Vorrasschauen nicht möglich“. Proband zehn kommentierte: „Denke mit Bewegung würde ich mir leichter tun.“ Diese Kommentare beschreiben die technischen Grenzen und die fehlenden wissenschaftlichen Erkenntnisse. Proband sechs beschreibt vermutlich den erlebten geringen Immersionsgrad, der sich aus Bewegung, der visuellen Darstellung und Beschleunigungen zusammensetzt. Proband zehn verdeutlicht die hohe Relevanz einer hochauflösenden Projektion. Das Vorrasschauen steht im direkten Zusammenhang der antizipatorischen Lenkung. Diese technische Verbesserung kann einen positiven Einfluss auf die fertigkeitbasierte Verhaltensebene bewirken und damit zu einem Automatismus führen. Die Anmerkung von Proband 27 bezieht sich vermutlich auf die fehlenden Aufbaubewegungen des Motorrades anhand einer Plattform. In dieser Untersuchung wurde ein statischer Simulator verwendet. Untersuchungen mit dynamischen Simulatoren sollten zunächst mit einem statischen Fahrsimulator verglichen werden. Das Ziel sollte es sein, positive Effekte anhand von objektiven und subjektive Metriken zu ermitteln. Ein möglicher Ansatz könnte sein, zunächst Expertenfahrer einzuladen, um die Güte anhand der Wiedererkennung zur Realität zu bewerten, weil Normalfahrer diese Fähigkeiten nicht besitzen.

Die sekundäre Betrachtung, insbesondere Frage vier, bezugnehmend zu der invertierten Positionsrückmeldung in Abschnitt drei, zeigt, dass eine sensorische Auswertung der Position durch den Tastsinn des Menschen schwer wiedererkannt wird. Lediglich zwei Personen haben die richtige Antwort gegeben. Durch die invertierte Positionsrückmeldung wird eine steife Lenkung simuliert, weil der Lenkwinkel, anders als in der Realität, entgegengesetzt verläuft. Das bedeutet, dass die Antwort *Zu steif* richtig interpretiert worden ist. Die Antwort *Realistisch* wurde für die invertierte Positionsrückmeldung mit 13 Mal, am häufigsten für alle Abschnitte, ausgewählt. Steife Lenkungen können bei sportlichen Motorrädern verwendet werden, um dem Fahrer ein direktes Fahrverhalten zu vermitteln. Es besteht die Möglichkeit, dass eine steife bis sehr steife Lenkung als positiv in der Fahrsimulation wahrgenommen wird, weil in dieser Untersuchung ausschließlich Tourerfahrer eingeladen wurden, die eine weniger steife Lenkung gewöhnt sind. Die Positionsrückmeldung bei Abschnitt eins und zwei wurde 13 Mal mit *realistisch* gegenüber der isometrischen mit sieben Mal bewertet. Die Antwort *Bewegungslos* wurde für Abschnitt eins sechs Mal richtig, für Abschnitt zwei sieben Mal richtig gegeben. Die sekundäre Betrachtung zeigt, ähnlich zu Pkw oder Lkw, dass das Lenkgefühl, also das subjektive Empfinden des Fahrers beim Lenken eines Fahrzeugs, das Potential für weitere Untersuchungen bietet. Die Zuordnung und Verteilung der Antworten können in Anhang C nachgeschlagen werden.

Den Abschluss der sekundären Betrachtung bildet die Zuordnung der gleichen Abschnitte und der dazugehörigen Eigenschaften. Neun Teilnehmer gaben an, dass kein Abschnitt gleich beziehungsweise, dass alle unterschiedlich waren. Vergleicht man nun die Antworten derselben neun Teilnehmer mit den Antworten der zuvor beschriebenen Fragen, fällt auf, dass die Probanden 5, 10, 11, 14, 22 und 29, die isometrische Eigenschaften plausibel zuordneten (C in grün markiert). Sie erkannten alle den isometrischen, also den bewegungslosen oder zu steifen Abschnitt. Von diesen konnten allerdings nur die Probanden 5 und 29 die beiden anderen Abschnitte also *Realistisch* und Positionsrückmeldung sowie *Zu steif* und Entgegengesetzt richtig zuordnen. Damit hatten lediglich zwei Teilnehmer die Abschnitte und die Eigenschaften korrekt zugeordnet. Diese Verknüpfung der Antworten deutet entweder auf geratene Antworten der sechs anderen Teilnehmer oder, dass das Lenkgefühl eine diffizile Arbeit erfordert.

In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich der Lenkwinkel für die Motorradfahrersimulation als nicht Notwendig herausstellt. Die Probanden konnten eine Änderung in der Lenkung spüren, diese hatte jedoch keine Auswirkung auf die objektiven Größen der Hypothesen. Weitere Untersuchungen sollten den Realismus, also wie echt sich eine isometrische Lenkung gegenüber einer mit Positionsrückmeldung anfühlt, in den Vordergrund stellen. Methoden aus Pkw- oder Lkw-Untersuchungen zum Lenkgefühl sollten herangezogen und angepasst werden, um Forschungslücken und die Erforschung des Einspurfahrzeuges zu stärken, auch im Hinblick von synthetischen Lenkungen mit zukünftig assistierenden Lenksystemen. Auch die Ermittlung der Fahrbarkeit mit einer isometrischen Lenkung im niedrigen Geschwindigkeitsbereich sollte näher untersucht werden. Damit wäre es möglich zu ermitteln, ob und wie sich die vestibuläre Wahrnehmung auf die Erfüllung der Fahraufgabe auswirkt.

Anhand des Vorgehens und der Ergebnisse, ist ein Beitrag zur Weiterentwicklung und Vermarktung von kostengünstigeren Motorradfahrersimulatoren geleistet worden.

4.3 Studie 3: Untersuchung der isometrischen Lenkung mit dynamischer Plattform

In Studie eins wurde die Kraftvorgabe mit einer statischen Plattform als Interaktionsgröße, die zu einem regelbasierte Verhalten führt, identifiziert. Die Fahraufgabe wurde mit weniger Stürzen, einer besseren Fahrerleistung und einer niedrigeren mentalen Beanspruchung erfüllt. In Studie zwei wurde gezeigt, dass die Rückmeldung des Lenkwinkels im stabilen Geschwindigkeitsbereich keine Notwendigkeit für die Motorradfahrersimulation darstellt. Die Fahrerleistung und mentalen Beanspruchung wiesen keine Unterschiede auf, was für die ABK-Motorradfahrersimulation eine positive Entwicklung darstellt. In der dritten Studie soll ermittelt werden, ob die Verwendung einer dynamischen Plattform zu weiteren Verbesserungen bei den genannten Kriterien führt.

In dieser abschließenden Untersuchung wird eine isometrische Lenkung mit einer statischen und einer dynamischen Plattform bewertet, um festzustellen, ob eine vestibuläre Wahrnehmung für ABK-Studien erforderlich ist. Da der Bewegungsraum eines dynamischen Simulators eingeschränkt ist werden Motion Cueing Algorithmen (MCA) genutzt, um Beschleunigungen unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Begegnungsraumes darzustellen. In dieser Studie wird eine Regelungsstrategie verwendet, um den Rollwinkel des virtuellen Fahrzeugs skaliert und gefiltert auf die Plattform zu übertragen. Diese Regelungsstrategie soll im Optimalfall durch die Bewegung der Plattform zu einem besseren Fahrverhalten und dem Ausbleiben der Simulatorkrankheit führen [86, S. 1]. Baarspul [86, S. 3-6] bezeichnet diesen künstlichen sensorischen Reiz als Motion Cues (MC), die den akustischen, visuellen, haptischen oder vestibulären Sinn anregen können. Dazu kann eine Bewegung skaliert, gefiltert oder durch eine Vernachlässigung aus der Dynamiksimulation durchgeführt werden [156].

Crundall, Crundall und Stedmon [87] nutzten einen statischen Fahrersimulator und schlussfolgerten, dass eine Bewegungssimulation die Fahrperformance verbessern kann, um die Validität der Untersuchungen zu erhöhen. Jedoch nutzten sie eine Positionsvorgabe, die in dieser Arbeit als nicht geeignet ermittelt wurde. Daher kann es sein, dass die berichtete Kritik auf die gewählte Eingabemethode zurückzuführen ist. Shahar et al. [157] schlussfolgerte, dass sich die Fahrperformance verbessern kann, wenn geeignete Roll MCA für die Motorradfahrersimulation entwickelt werden. Anzumerken ist, dass auch dieser Autor eine Krafrückmeldung und damit eine Positionsvorgabe nutzte [157, S. 736].

Aufgrund der erweiterten vestibulären Reizwahrnehmung durch die Nutzung einer dynamischen Plattform wird der Stand der Forschung und Technik an dieser Stelle ergänzt. In Abbildung 4.20 ist der Standardregelkreis angepasst an das allgemeine Strukturschema des Mensch-Maschine-System nach Bubb et al. [158, S. 13 - 24]. Die Ausprägungen A und B beschreiben den direkten Einfluss der Technik auf die Reizwahrnehmung.

Zu beachten ist, dass die Blöcke Motorik (Regler) und Reizwahrnehmung (Messeinrichtung) Eigenschaften eines Menschen sind und eine serielle oder parallele Struktur haben können, diese Abbildung ist eine vereinfachten Darstellung. Wie bereits in Kapitel 4.2.5 erwähnt, konnte beobachtet werden, dass einige Probanden während der Fahrt den visuellen Rollwinkel ausgleichen. Da dieses Verhalten nicht messbar ist und nicht alle dieses Verhalten aufweisen, wird die Kopfbewegung als Störgröße auf die Reizwahrnehmung betrachtet. Das Fahrdynamikmodell stellt die Regelstrecke dar und hat Einfluss auf die Projektion oder die Plattformbewegung und Projektion [159]. Eine Besonderheit, bereits beschrieben von Yamasaki et al. [88] und Nagasaka et al. [160], ist das Rollzentrum der Plattform. Yamasaki empfiehlt den Rollmittelpunkt

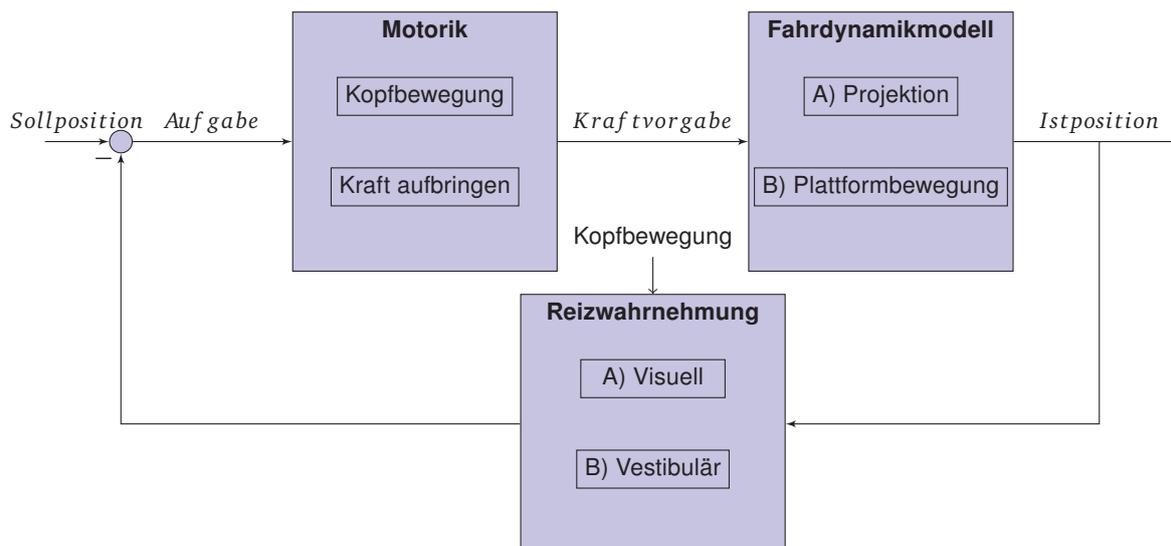


Abbildung 4.20: Angepasster Regelkreis auf das Mensch Maschine System mit den möglichen Ausprägungen A und B.

der Plattform aus der Höhe des Schwerpunktes des Fahrzeuges und dem Abstand zwischen Schwerpunkt und Rollmittelpunkt zu bestimmen.

4.3.1 Technische Limitation

Die technischen Beschränkungen für die 6-DOF Plattform sind in der Veröffentlichung [159] genauer beschrieben. Die Skizze in Abbildung 4.21 zeigt die Bewegungssteuerung der Plattform mit den Freiheitsgraden in Tabelle 4.31. Für diese Untersuchung ist die Rollbewegung mit einem maximalen Winkel von 11° und einer Rollrate von $8 \frac{^\circ}{s}$ relevant. Die anderen Freiheitsgrade werden nicht genutzt.

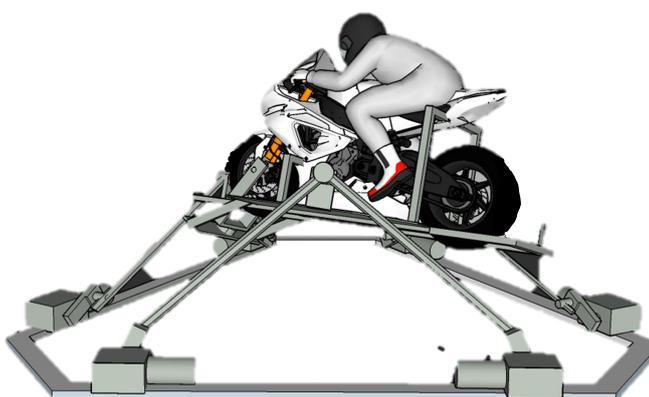


Abbildung 4.21: Skizzierte Darstellung der dynamischen Plattform.

4.3.2 Zielsetzung und Fragestellung

In dieser Untersuchung wird ermittelt, ob ein Rollen der Plattform mit einer isometrischen Lenkung für ABK-Untersuchungen erforderlich ist. Das Bedienen eines Fahrzeuges basiert auf Rückmeldungen, die eine Kontrolle und Steuerung eines Fahrzeuges verbessern können [161, 74

Tabelle 4.31: Freiheitsgrade der dynamischen Plattform für die translatorische, reparatorische Bewegung mit der maximalen Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Freiheitsgrad	d	v	a
Zucken - x	0.17m	-	3.5
Schieben - y	0.19m	-	3.5
Heben - z	0.17m	-	4.0
Rollen φ	11.0°	8	-
Nicken θ	12.5°	8.4	-
Gieren ψ	8.5°	5.2	-

S. 13]. Kemeny und Panerai [89] berichten, dass eine Bewegungsrückmeldung Auswirkung auf die Spurposition und Geschwindigkeitseinhaltung haben kann. Überträgt man diese Ergebnisse auf ein Einspurfahrzeug, kann angenommen werden, dass sich eine SDLP bei einem geeigneten Rollen der Plattform verbessern kann.

Zudem besteht auch die Möglichkeit, dass die Fahraufgabe weniger mentale Beanspruchung erfordert und zu einem besseren Fahrerzustand führt. Die Ermittlung der beider Kategorien kann anhand des RALI Fragebogens gemessen werden, wie in Studie 1. Das erfordert jedoch ein adäquates Simulieren der Bewegung und kann bei Fehlern zur Simulatorkrankheit führen. Diese Krankheit tritt auf, wenn Unstimmigkeiten zwischen visuell wahrgenommener Bewegung und Bewegungen durch den vestibulären Sinn bestehen. Krankheiten dieser Art können anhand des SSQ Fragebogen erfasst werden, um den Grad der Auswirkungen auf die jeweiligen Kategorien zu bewerten [162, S. 42].

Aufgrund der bereits ermittelten geeigneten Lenkinteraktion und dem Resultat, dass keine Stürze auftreten, die Hinweise auf ein Fehlverhalten geben, kann das Kriterium Spurüberschreitung genutzt werden. Die Spurüberschreitung kann als prozentuale Zeit oder den Weg außerhalb der Fahrbahn ermittelt werden [28]. Dieses Kriterium stellt methodisch ein ähnliches Vorgehen gegenüber dem Messen der Anzahl der Stürze dar, weil es Fehlverhalten ermittelt.

Unterreiner [63] untersuchte im Rahmen der Pkw-Fahrsimulation das Fahrgefühl des Fahrers an einem dynamischen Fahrsimulator anhand dem Durchfahren einer Spurwechselgasse, die auch in dieser Untersuchung verwendet wird. Die subjektive Bewertung erfolgte anhand eines Fragebogens, der für das Szenario erstellt worden war. Zusätzlich nutzte er die Methode der semantischen Differentiale, um Bewegungs-, Komfort- und Realismusunterschiede festzustellen. In Kapitel 4.3.3 wird die Nebenaufgabe Fahren in der Mitte der Fahrbahnen beschrieben. Unterreiner verwendete ein ähnliches experimentelles Design zur Ermittlung, wie gut die Spurhalteaufgabe subjektiv durchgeführt wurde. Basierend auf den beschriebenen Kriterien wird die Notwendigkeit für einen ABK-Motorradfahrsimulator bewertet.

In Abbildung 4.22 sind die unabhängigen und abhängigen Variablen abgebildet. In Tabelle 4.3.3 sind die ausformulierten Hypothesen und die Fragestellung enthalten, basierend auf den abhängigen Variablen.

4.3.3 Experimentelles Design

In diesem Abschnitt werden das Versuchsdesign, die gewählten Messmittel und die Einschränkungen beschrieben.

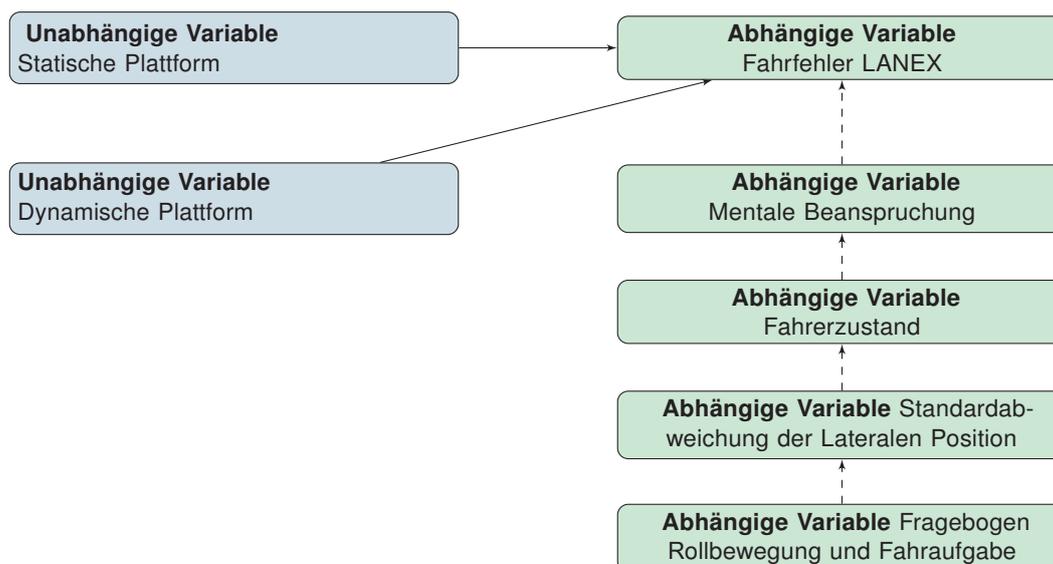


Abbildung 4.22: Darstellung der unabhängigen und abhängigen Variablen bei Studie 3.

Tabelle 4.32: Hypothesen zur Beantwortung der Forschungsfrage in Studie 3.

Fragestellungen und abgeleitete Hypothesen zu den Lenkkonfigurationen mit einer Positionsrückmeldung und als isometrischen Aufbau	
Kodierung	Stellt die Rückmeldung des Rollwinkels anhand einer dynamischen Plattform eine Notwendigkeit dar?
H0_A	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an Fahrfehlern.
H1_A	Bei den Lenkkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied in der Anzahl an Fahrfehlern.
H0_B	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.
H1_B	Bei den Plattformkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.
H0_C	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Fahrerzustand.
H1_C	Bei den Plattformkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied im Fahrerzustand.
H0_D	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Standardabweichung der lateralen Position.
H1_D	Bei den Plattformkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied in der Standardabweichung der lateralen Position.
H0_E	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Beantwortung der Fragen.
H1_E	Bei den Plattformkonfigurationen besteht ein signifikanter Unterschied in der Beantwortung der Fragen.

Versuchsaufbau

In dieser Untersuchung wird der Motorradfahrersimulator der BMW AG genutzt. Der Aufbau ist bereits in Kapitel 4.1.2 beschrieben, es wird lediglich auf die Unterschiede zur vorherigen Konfiguration eingegangen. Der Lenker entspricht der isometrischen Konfiguration, wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben.

Das Ziel ist zu ermitteln, ob ein vestibulärer Reiz, verursacht durch ein Rollen der Plattform, notwendig für die Motorradfahrersimulation ist. Daher werden zwei Faktorstufen untersucht: statischer

Simulator mit einer 1:1 Abbildung der Bewegungsabläufe auf der Leinwand gegen ein MCA nach Nagasaka et al. [160]. Der funktionale Anteil und die Parametrierung ist in der Veröffentlichung Werle und Diermeyer [159] beschrieben. Das Bewegungskonzept simuliert durch ein Rollen der Plattform vestibuläre Reize in Richtung der Schwerkraft. Da die Plattform nur einen maximalen Rollwinkel von 11° zulässt, wurde neben einem Skalierungsfaktor ein Washout implementiert, das ein unbemerktes Zurückrollen während eines stationären Fahrzustandes ausführt [163, S. 402-405]. Zu beachten ist, dass das Rollzentrum in Höhe der Sitzbank liegt, damit wird das Gefühl des Herunterfallens nicht verursacht, was auch aus fahrdynamischer Sicht plausibel ist. In der Realität verursachen der Flieh- und Schwerkraftvektor eine Kraft Richtung Sitz. Um zu vermeiden, dass der visuelle und Plattform-Rollwinkel zu einem falschen Cue führen, wird der Rollwinkel der Plattform von der visuellen Projektion abgezogen. Damit soll der erlebte Rollwinkel bei einer stationären Fahrt gleich groß bleiben.

Die gewählten Fahrszenarien sind in Abbildung 4.3 dargestellt. Verwendet wird das Szenario b doppelter U-Turn und c einfacher achtfacher Spurwechsel. Auf die Kreisfahrt wird verzichtet, um mögliche Ausfälle, verursacht durch Kinetose, zu vermeiden. Die Übungsfahrt besteht aus einer 5 minütigen Geradeausfahrt mit zwei 180° Kurven.

Versuchsdesign

Das Versuchsdesign entspricht einem einfaktoriellen Versuchsdesign mit Messwiederholungen und einem randomisierten Ablauf als Within-Subject-Studiendesign. Es werden zwei Plattformkonzepte untersucht, um zu ermitteln, ob signifikante Unterschiede in den Hypothesen in Tabelle 4.32 bestehen. Für diese Untersuchung wurde eine Vorstudie mit fünf Probanden durchgeführt, um Fehler im Ablauf oder häufige Ausfälle verursacht durch Kinetose festzustellen. Es wurden keine Auffälligkeiten beobachtet.

Die Dauer der Studie beträgt maximal 90 Minuten. Als Fahraufgabe ist ein mittiges Durchfahren des Fahrstreifens bei einer Geschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ gewählt. Damit können Fehler und die Performance, ähnlich zu Studie 1 in Kapitel 4.1.2 ermittelt werden. Wie in den Studien zuvor werden nur Probanden eingeladen, die keine Erfahrung mit dem Fahr Simulator besitzen. Damit sollen Lerneffekte aus vorherigen Untersuchungen vermieden werden. Zusätzlich dürfen nur Probanden teilnehmen, die einen Führerschein der Klasse A, A1 und A2 besitzen sowie eine gesamte Fahrerfahrung über 10000 km haben. Die Erfassung dafür erfolgt anhand eines demographischen Fragebogens. Zusätzlich wurden die Fragen zur Ermittlung der Sensibilität auf Kinetose und aus Kapitel 4.1.2 genutzt.

Material

In diesem Abschnitt wird auf die objektiven und subjektiven Messmethoden eingegangen.

Demographischer Fragebogen

Der demographische Fragebogen hat das Ziel, Kontrollmaßnahmen für Störgrößen bei der Auswertung der Daten zu ermöglichen. Erfasst werden das Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung in Kilometer gesamt, Fahrerfahrung in Kilometer im letzten Jahr und ob Erfahrung an diesem Motorradfahr Simulator vorhanden ist.

Fahrer Beanspruchungsindex RALI

In Studie 1 wurde der RALI-Fragebogen genutzt, um die mentale Beanspruchung und den Fahrerzustand zu ermitteln. Dieser Fragebogen basiert auf den NASA TLX und wurde für die Anwendung bei Motorrädern optimiert [62]. Dieser Fragebogen besteht aus den Items Stress, negative Emotionen für den Fahrerzustand und benötigte Aufmerksamkeit und Situationsbewältigung für die mentale Beanspruchung. Neben der mentalen Beanspruchung, die den kognitiven Aufwand für die Fahraufgabe misst, wird auch der Fahrerzustand gemessen, um Auffälligkeiten zu ermitteln.

Fragebogen Bewegungswahrnehmung und Aufgabenerfüllung

Als weiteren Fragebogen zur Ermittlung, wie die Bewegung wahrgenommen wird, und zur Messung der subjektiven Aufgabenerfüllung werden Fragen formuliert, die das Motion Cueing der Rollbewegung und die Fahraufgabe des mittigen Durchfahrens bewerten. Frage eins und zwei werden als sechs Punkte Skala mit den Enden unrealistisch (1) und realistisch (6) gestellt. Die ungerade Skala hat den Zweck, Tendenzen festzustellen. Frage drei betrifft die subjektive Erfüllung der Fahraufgabe mit der gleichen Skala und den Enden gar nicht (1) und sehr gut (6) [63, S. 156-160].

- 1 Wie empfanden Sie die visuelle Wahrnehmung der Schräglage während der Fahrt?
- 2 Wie empfanden Sie die Darstellung der Schräglage durch das Bewegungssystem während der Fahrt?
- 3 Konnten Sie der Fahrspur folgen?

LANEX

Die Erfassung einer Fahrspurüberschreitung kann anhand unterschiedlicher Stufen und Messmethoden erfolgen. Östlund et al. [164] sahen eine Überschreitung der Fahrspur, sobald die linke oder rechte Seite des Reifens die Spurmarkierung berühren, was als strenges Kriterium betrachtet wird. Campbell, Carney und Kantowitz [165] werteten eine Überschreitung erst, wenn die Hälfte des Fahrzeugs sich außerhalb der Fahrbahn befindet, das als milde Variante betrachtet werden kann. Als Messmethode besteht die Möglichkeit, der Anzahl an Überschreitungen, anhand von Metern oder der Dauer außerhalb der Fahrbahn [28]. Wobei letzteres als absolute Zeit oder prozentual angegeben werden kann. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Prozentuale Messmethode gewählt und eine Überschreitung erst dann aufgezeichnet, sobald sich der Mittelpunkt des Fahrzeugs außerhalb der Fahrbahn befindet. Letzteres ist über die Messmöglichkeit an diesem Fahrsimulator und aufgrund der geringen Gesamtbreite des virtuellen Motorrads begründet. Die prozentuale Angabe wird als hinreichend erachtet, weil diese einen guten Vergleichswert über die verschiedenen Fahrmanöver bildet.

Simulatorkrankheit

Wie bereits in Studie 1 und 2 verwendet, wird auch in dieser Untersuchung der SSQ genutzt. Die Nutzung der Items ist wie in Studie 1 Kapitel 4.1.2 beschrieben. Neben der Erfassung der Simulatorkrankheit wird abschließend über alle durchgeführten Studien die Bewertung der Weiterentwicklung des Motorradfahrersimulators anhand des SSQ in Kapitel 5.1 diskutiert.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entspricht dem beschriebenen Design in Kapitel 4.3.3. Zur Kontrolle von Versuchsleitereffekten wird ein standardisierter Leitfaden genutzt (Anhang D). Um den Lerneffekt zu kontrollieren, werden die Eingewöhnungsfahrten und Messfahrt randomisiert. Nach der Einführung wird der demographische Fragebogen und SSQ-Fragebogen ausgefüllt und mit der Eingewöhnungsfahrten begonnen, wovon eine Fahrt jeweils fünf Minuten dauert. Anschließend erfolgt die erste Messfahrt mit den Fahrscenarien Spurwechsel und U-Turn. Nach jeder Messfahrt wurden die Fragebögen RALI, Bewegungswahrnehmung und Aufgabenerfüllung vom Probanden ausgefüllt, mit einer Gesamtdauer je Messfahrt von 18 Minuten.

Den Abschluss bildet die Abschlussbefragung mit einem Kommentarfeld, dem SSQ-Fragebogen und einer Aufklärung des Versuchs.

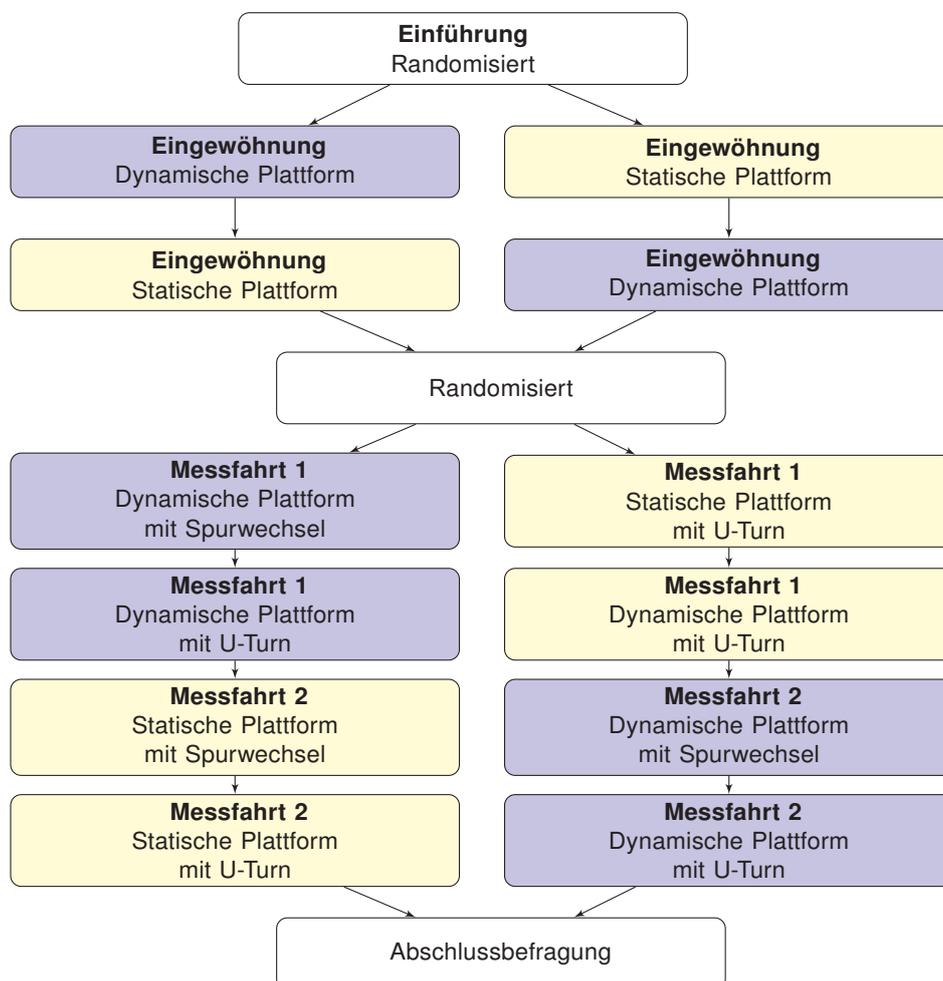


Abbildung 4.23: Versuchsablauf der zweiten Studie zur Ermittlung der Notwendigkeit einer Positionsrückmeldung; Dargestellt sind die Eingewöhnung, die Randomisierung und die sekundäre Betrachtung der invertierten Positionsrückmeldung.

Probandenkollektiv

Auch für diese Untersuchung wird der empfohlene Datensatz anhand G-Power bestimmt (Tabelle 4.33). Die Effektstärke wird mit $\rho = 0.375$, der α -Fehler mit $\alpha = 0.005$ und die konventionelle fixierte Teststärke mit $1 - \beta = 0.8$ angenommen. Da in vergleichbaren Probandenstudien keine Angabe zu der Anzahl der Probanden gemacht wurden, wird von einem mittleren Effekt

ausgegangen, weil die Bewegung der Plattform (vestibuläre Wahrnehmung) spürbar ist ermittelt. Dies wurde anhand der Vorstudie ermittelt, woraus sich die Effektstärke zu $\rho = 0.375$ ergibt. Der errechnete empfohlene Datensatz liegt damit bei 34 Teilnehmern.

In dieser Untersuchung haben ausschließlich Mitarbeiter der BMW AG teilgenommen. Es wurden insgesamt 45 Probanden eingeladen, wovon 43 teilnahmen. Elf der 43 teilgenommenen Probanden mussten aufgrund der Simulatorkrankheit frühzeitig die Studie beenden. Somit ergibt sich eine Stichprobe von 32 validen Datensätzen. Der Ausfall der Probanden wird in Kapitel 5 näher diskutiert. Der jüngste Teilnehmer hat ein Alter von 20 und der älteste 64 Jahren, das durchschnittliche Alter von ($MW = 43.7$) Jahre beträgt.

Elf Probanden gaben an, eine Fahrerfahrung von mehr als 50000 km, neun zwischen 30000 und 50000 km, fünf zwischen 20000 und 30000 km, weitere fünf zwischen 15000 und 20000 km und zwei zwischen 10000 und 15000 km zu haben.

23 Teilnehmer gaben an keine Fahrsimulatorerfahrung zu haben und neun gaben an bereits an Pkw-Fahrsimulatorstudien teilgenommen zu haben.

Tabelle 4.33: G-Power Tabelle

Effektstärke ρ	α -Fehler	Teststärke $1-\beta$	Empfohlene Datensätze
0.375	0.05	0.8	34

4.3.4 Ergebnisse

Dieser Abschnitt bildet die Ergebnisse der letzten Untersuchung ab. Die nachfolgende Ergebnisdarstellung erfolgt für das jeweilige Fahrszenario. In beiden Szenarien war die Fahraufgabe mittig innerhalb der Fahrbahn zu bleiben und die Fahraufgabe bei einer Geschwindigkeit von $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ zu erfüllen.

Die statistische Auswertung erfolgt mit einem $\alpha = 5 \%$. Für die Überprüfung der Signifikanz wird ein t-Test verwendet, der zunächst auf die beschriebenen Kriterien in Kapitel 4.2.4 überprüft wird.

Spurwechsel

SDLP

Abbildung 4.24 stellt die Standardabweichung der lateralen Position für den Spurwechsel dar, damit kann die Stabilisierung bewertet werden.

Tabelle 4.34: Standardabweichung der lateralen Position für den Spurwechsel mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.

SDLP	Konzept	Mittlere Abweichung \bar{X} m	Standard- abweichung σ m	Median \tilde{X} m	Unteren Whisker m	Oberen Whisker m
	Statisch	0.48	0.26	0.42	0.15	0.95
	Dynamisch	0.31	0.14	0.27	0.15	0.5

Für die Überprüfung der Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Für beide Datensätze liegt keine Normalverteilung vor ($p_{SP} = 0.004$, $p_{DP} = 0.000$), damit wird der nichtparametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt. Dieser Signifikanztest ermittelt keinen Unterschied beider Gruppen ($p = 0.061$) (Tabelle 4.35).

Basierend auf der statistischen Untersuchung wird die Nullhypothese beibehalten.

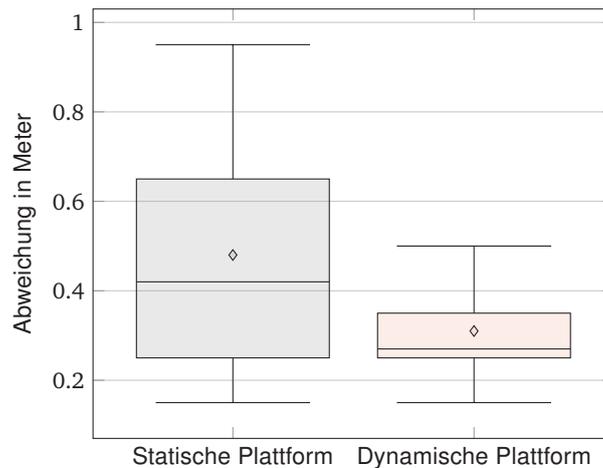


Abbildung 4.24: Boxplot der SDLP für eine statische und dynamische Plattform für das Spurwechselmanöver.

Tabelle 4.35: Auswertung für das Fahrmanöver Spurwechsel.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0D}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Standardabweichung der lateralen Position	Angenommen

LANEX

der LANEX wird als prozentualer Wert angegeben und beschreibt den gefahrenen Anteil außerhalb der Fahrbahn.

Die mittlere prozentuale Verteilung beträgt $\bar{X}_{SP} = 2.5 \%$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{SP} = 4.3 \%$ und einem Median von $\tilde{X}_{SP} = 0 \%$. Es gilt für den unteren $Whisker_{SP} = 0 \%$ und für den oberen $Whisker_{SP} = 10 \%$.

Für dynamische Plattform wurde keine Fahrzeit außerhalb der Fahrbahn gemessen.

Die Auswertung der Fahrfehler erfolgt anhand der statistischen Methode. Knappe, Keinath und Meinecke [28] empfehlen keine rein quantitative Betrachtung, weil die Ergebnisse verzerrt werden und vom Studiendesign abhängig sein können.

Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Test. Dieser ermittelt für beide Datensätze, dass keine Normalverteilung vorliegt ($p_{SP} = 0.000$ $p_{DP} = 0.000$). Daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt. Der Test ermittelt keinen signifikanten Unterschied beider Datensätze ($p = 0.236$) (Tabelle 4.40).

Tabelle 4.36: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0A}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an Fahrfehlern.	Angenommen

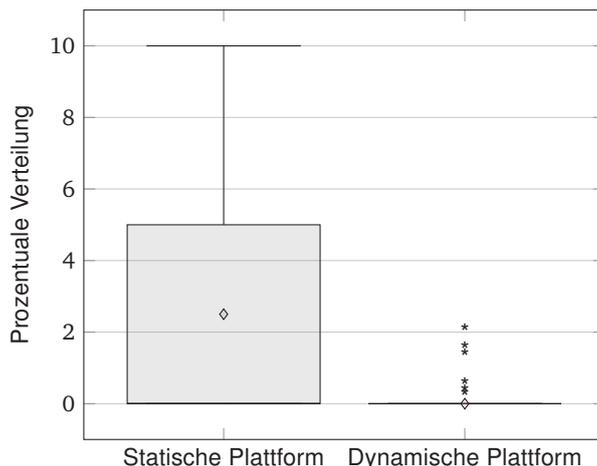


Abbildung 4.25: Boxplot des LANEX Fahrfehlers als prozentuale Verteilung der gefahrenen Zeit außerhalb der Fahrbahn.

U-Turn

SDLP

Die Auswertung des SDLP erfolgt analog zum Fahrmanöver Spurwechsel. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf Abbildung 4.26.

Tabelle 4.37: Standardabweichung der lateralen Position für den U-Turn mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.

SDLP	Konzept	Mittlere Abweichung \bar{x} m	Standard- abweichung σ m	Median \tilde{x} m	Unteren Whisker m	Oberen Whisker m
	Statisch	1.0	0.78	0.72	0.5	2.2
	Dynamisch	0.89	0.45	0.77	0.4	1.2

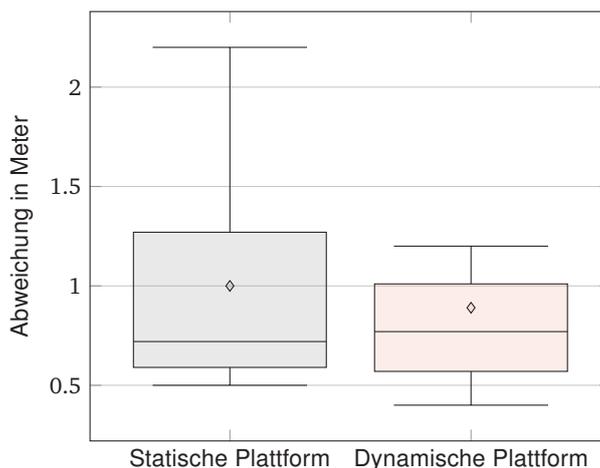


Abbildung 4.26: Boxplot der SDLP für eine statische und dynamische Plattform für den U-Turn.

Die Überprüfung auf Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Tests. Beide Datensätze sind nicht normalverteilt ($p_{SP} = 0.000$, $p_{DP} = 0.000$), daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt. Dieser ist nicht signifikant ($p = 0.669$), daher wird die Nullhypothese beibehalten (Tabelle 4.38).

Tabelle 4.38: Auswertung für das Fahrmanöver U-Turn.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0D}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Standardabweichung der lateralen Position	Angenommen

LANEX

Der LANEX wird als prozentualer Wert angegeben und beschreibt den gefahrenen Anteil außerhalb der Fahrbahn.

Tabelle 4.39: LANEX in Prozent für den U-Turn mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.

LANEX	Konzept	Mittelwert \bar{X} %	Standard- abweichung σ %	Median \tilde{X} %	Unteren Whisker %	Oberen Whisker %
	Statisch	12.4	13.7	8.3	0	43
	Dynamisch	7.6	8.3	5.2	0	20

Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Test. Dieser ermittelt für beide Datensätze, dass keine Normalverteilung vorliegt ($p_{SP} = 0.000$ $p_{DP} = 0.000$). Daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt, der Test ermittelt keinen signifikanten Unterschied beider Datensätze ($p = 0.171$).

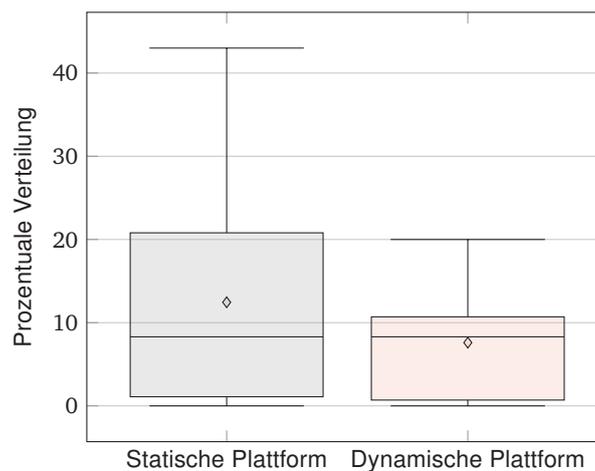


Abbildung 4.27: Boxplot des LANEX Fahrfehlers als prozentuale Verteilung der gefahrenen Zeit außerhalb der Fahrbahn.

Tabelle 4.40: Beantwortung der Hypothese.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0A}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl an Fahrfehlern.	Angenommen

Fragebogen Rollbewegung und Fahraufgabe

Visuelle Rollbewegung

Die Auswertung der Fragen zum visuellen Rollen, dem Rollen der Plattform und der subjektiven Erfüllung der Fahraufgabe hat das Ziel, Tendenzen für die Konzepte zu ermitteln. Die Bewertung dafür erfolgt anhand statistischer Methoden. Die Darstellungen der Verteilung anhand eines Boxplots sind im Anhang D, weil die maßgeblichen Informationen im Balkendiagramm besser dargestellt sind werden Histogramme zu Visualisierung verwendet.

Für die Frage *Wie empfanden Sie die visuelle Wahrnehmung der Schräglage während der Fahrt?* der statischen Plattform, beträgt die mittlere Abweichung $\bar{X}_{SP} = 4.3$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{SP} = 1.23$ und einem Median von $\tilde{X}_{SP} = 5$. Es gilt für den unteren $Whisker_{SP} = 2$ und für den oberen $Whisker_{SP} = 6$.

Für die dynamische Plattform beträgt die durchschnittliche Abweichung $\bar{X}_{DP} = 4.28$ m mit einer Standardabweichung von $\sigma_{DP} = 0.88$ m und einem Median von $\tilde{X}_{DP} = 4$ m. Es gilt für den unteren $Whisker_{DP} = 3$ m und für den oberen $Whisker_{DP} = 6$ m.

Die Überprüfung der Normalverteilung mittels des Shapiro-Wilk-Tests ergibt für beide Gruppen, dass keine Normalverteilung vorliegt ($p_{SP} = 0.000$, $p_{DP} = 0.004$). Damit wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt. Dieser Hypothesentest ergibt, dass kein signifikanter Unterschied vorliegt ($p = 0.291$) siehe Tabelle 4.41. Die Verteilung als Balkendiagramm ist in Abbildung 4.28 dargestellt.

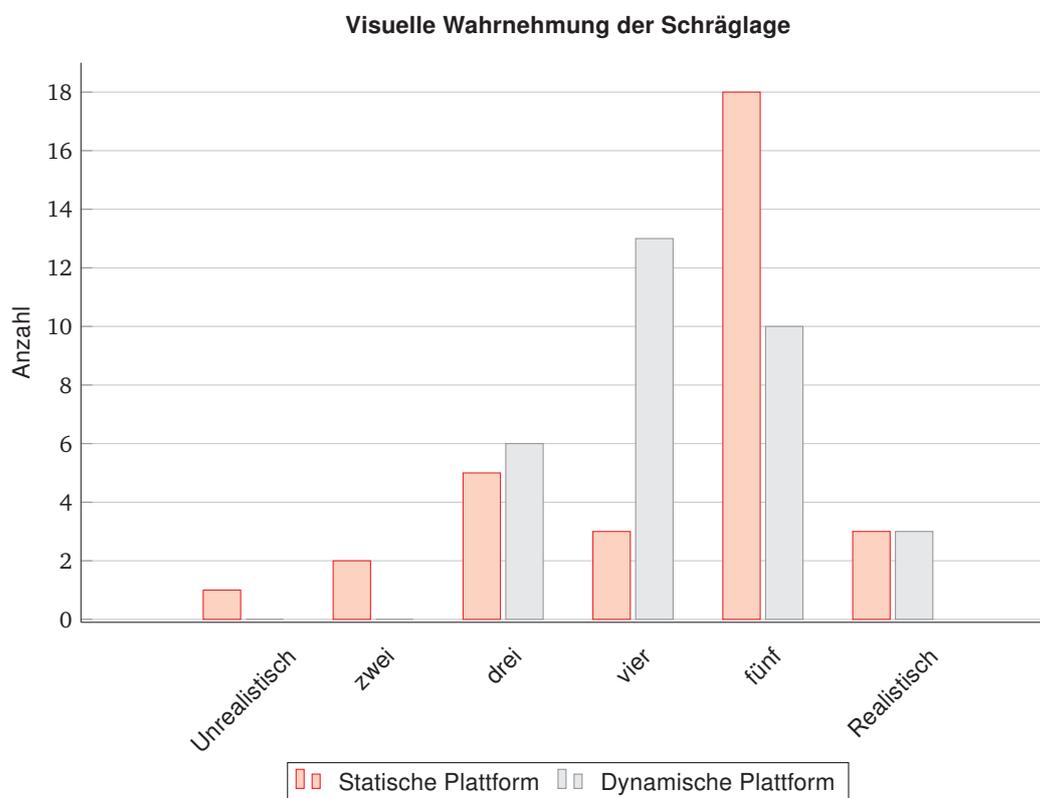


Abbildung 4.28: Balkendiagramm mit den Enden unrealistisch und realistisch zur visuellen Darstellung der Schräglage.

Vestibuläre Wahrnehmung der Rollbewegung

Die Auswertung erfolgt analog zur visuellen Rollbewegung.

Tabelle 4.41: Wahrnehmung der visuellen Rollbewegung.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0E}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Beantwortung der Fragen.	Angenommen

Für die Frage *Wie empfanden Sie die Darstellung der Schräglage durch das Bewegungssystem während der Fahrt?* der statischen Plattform beträgt die mittlere Abweichung $\bar{X}_{SP} = 3.46$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{SP} = 1.34$ und einem Median von $\tilde{X}_{SP} = 4$. Es gilt für den unteren $Whisker_{SP} = 1$ und für den oberen $Whisker_{SP} = 6$.

Für die dynamische Plattform beträgt die durchschnittliche Abweichung $\bar{X}_{DP} = 4.31$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{DP} = 0.89$ und einem Median von $\tilde{X}_{DP} = 4$. Es gilt für den unteren $Whisker_{DP} = 3$ und für den oberen $Whisker_{DP} = 6$.

Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Test. Dieser ermittelt für beide Datensätze, dass keine Normalverteilung vorliegt ($p_{SP} = 0.039$ $p_{DP} = 0.002$). Daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test gewählt, der Test ermittelt einen signifikanten Unterschied beider Datensätze ($p = 0.012$) (Tabelle 4.42).

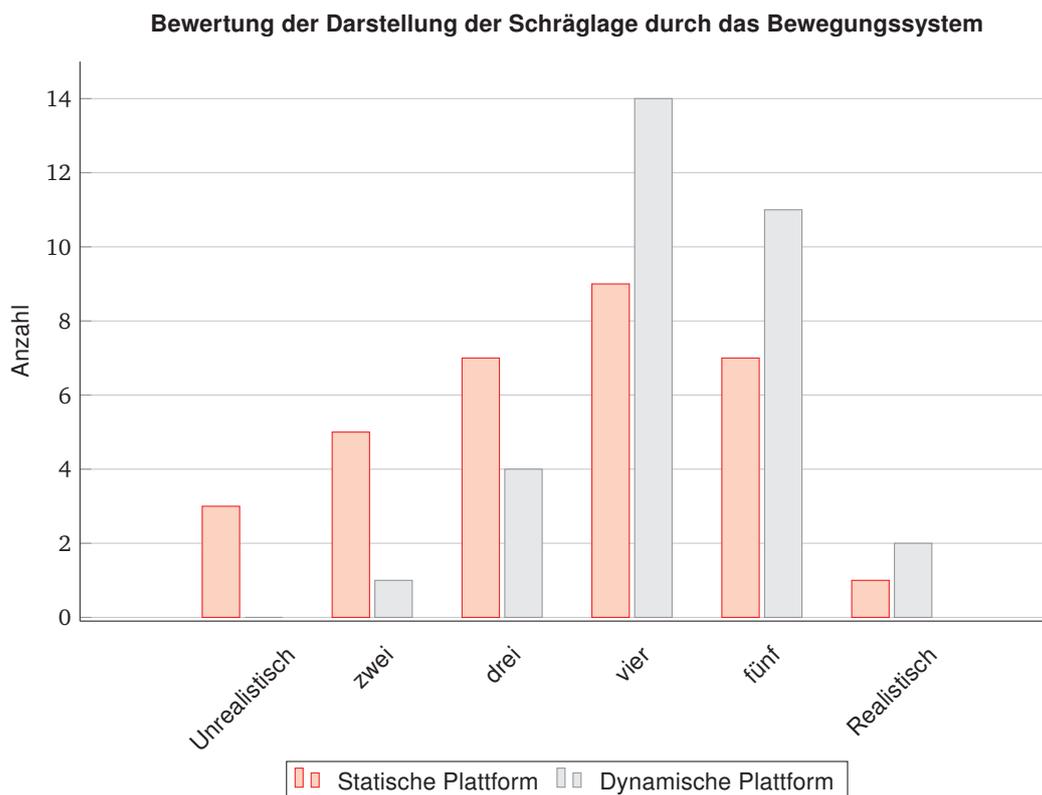


Abbildung 4.29: Histogramm der Fragen 1 und 2 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl.

Tabelle 4.42: Vestibuläre Wahrnehmung der Rollbewegung.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0E}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Beantwortung der Fragen.	Abgelehnt

Subjektive Aufgabenerfüllung

Die Auswertung erfolgt analog zur visuellen Rollbewegung.

Für die Frage *Konnten Sie der Fahrspur folgen?* der statischen Plattform beträgt die mittlere Abweichung $\bar{X}_{SP} = 3.09$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{SP} = 0.89$ und einem Median von $\tilde{X}_{SP} = 3$. Es gilt für den unteren $Whisker_{SP} = 1$ und für den oberen $Whisker_{SP} = 5$.

Für die dynamische Plattform beträgt die durchschnittliche Abweichung $\bar{X}_{DP} = 3.4$ mit einer Standardabweichung von $\sigma_{DP} = 0.94$ und einem Median von $\tilde{X}_{DP} = 3$. Es gilt für den unteren $Whisker_{DP} = 2$ und für den oberen $Whisker_{DP} = 5$.

Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Test, dieser ermittelt für beide Datensätze, dass keine Normalverteilung vorliegt ($p_{SP} = 0.004$ $p_{DP} = 0.002$). Daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U Test gewählt, der Test ermittelt keinen signifikanten Unterschied beider Datensätze ($p = 0.222$) (Tabelle 4.43).

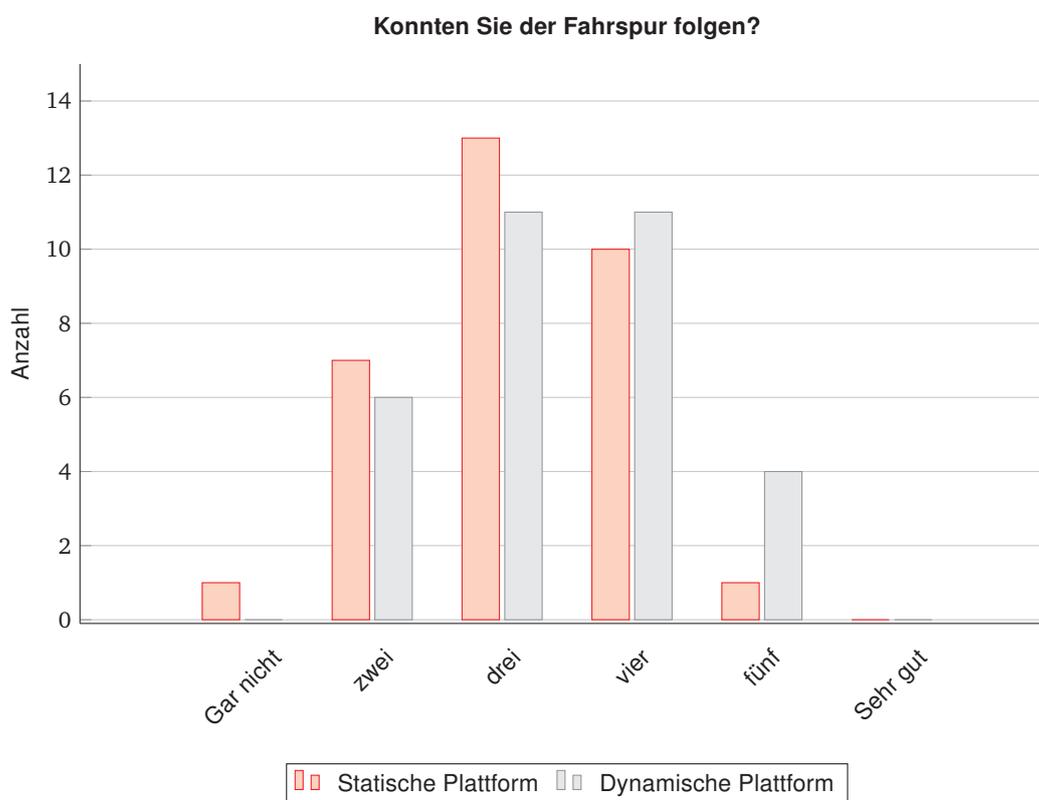


Abbildung 4.30: Aufgabenerfüllung.

Tabelle 4.43: Vestibuläre Wahrnehmung der Rollbewegung.

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0E}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der Beantwortung der Fragen.	Angenommen

Rider Activity Load Index

Die Kategorien mentale Beanspruchung und Fahrertzustand, bestehend aus den Items Aufwand an Aufmerksamkeit, Aufwand zur Situationsbewältigung, situationsbedingter Stress und Anteil an negativen Emotionen, ist in der Abbildung 4.31 dargestellt.

Item: Aufwand an Aufmerksamkeit Verteilung des Items Aufwand an Aufmerksamkeit in Tabelle 4.44.

Tabelle 4.44: Item Aufwand an Aufmerksamkeit aus dem RALI Fragebogen.

Aufwand an Aufmerksamkeit	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Statisch	3.8	1.0	4.0	0	5.0
	Dynamisch	3.78	1.0	4.0	1.0	5.0

Item: Aufwand zur Situationsbewältigung Verteilung des Items Aufwand an Aufmerksamkeit in Tabelle 4.45.

Tabelle 4.45: Item Aufwand zur Situationsbewältigung aus dem RALI Fragebogen.

Aufwand zur Situationsbewältigung	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Statisch	2.96	1.23	3.0	1.0	4.0
	Dynamisch	3.31	1.25	3.5	2.0	4.0

Item: Situationsbedingter Stress Verteilung des Items situationsbedingter Stress in Tabelle 4.46.

Tabelle 4.46: Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.

Situationsbedingter Stress	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Statisch	2.96	1.23	3.0	0.0	5.0
	Dynamisch	3.15	1.19	3.0	0	5.0

Item: Anteil an negativen Emotionen Verteilung des Items Aufwand an Aufmerksamkeit in Tabelle 4.47.

Tabelle 4.47: Item Anteil an negativen Emotionen aus dem RALI Fragebogen.

Anteil an negativen Emotionen	Konzept	Durchschnittliche Abweichung \bar{X}	Standardabweichung σ	Median \tilde{X}	Unteren Whisker	Oberen Whisker
	Statisch	2.06	1.24	2.0	0	5.0
	Dynamisch	2.0	1.17	2.0	0	4.0

Die Auswertung des RALI erfolgt für beide Kategorien mit den jeweiligen Items. Die Überprüfung der Normalverteilung erfolgt anhand des Shapiro-Wilk-Test. Eine Normalverteilung liegt nur für das Item Aufwand an Aufmerksamkeit vor ($p_{SP} = 0.000$ $p_{DP} = 0.002$). Daher wird der t-Test für die Ermittlung der Signifikanz verwendet. Für alle anderen Items wurde keine Normalverteilung festgestellt. Die Signifikanzen für die Verteilungen weisen folgende Werte für die Items auf: Aufwand zur Situationsbewältigung ($p_{SP} = 0.012$ $p_{DP} = 0.008$), situationsbedingter Stress ($p_{SP} =$

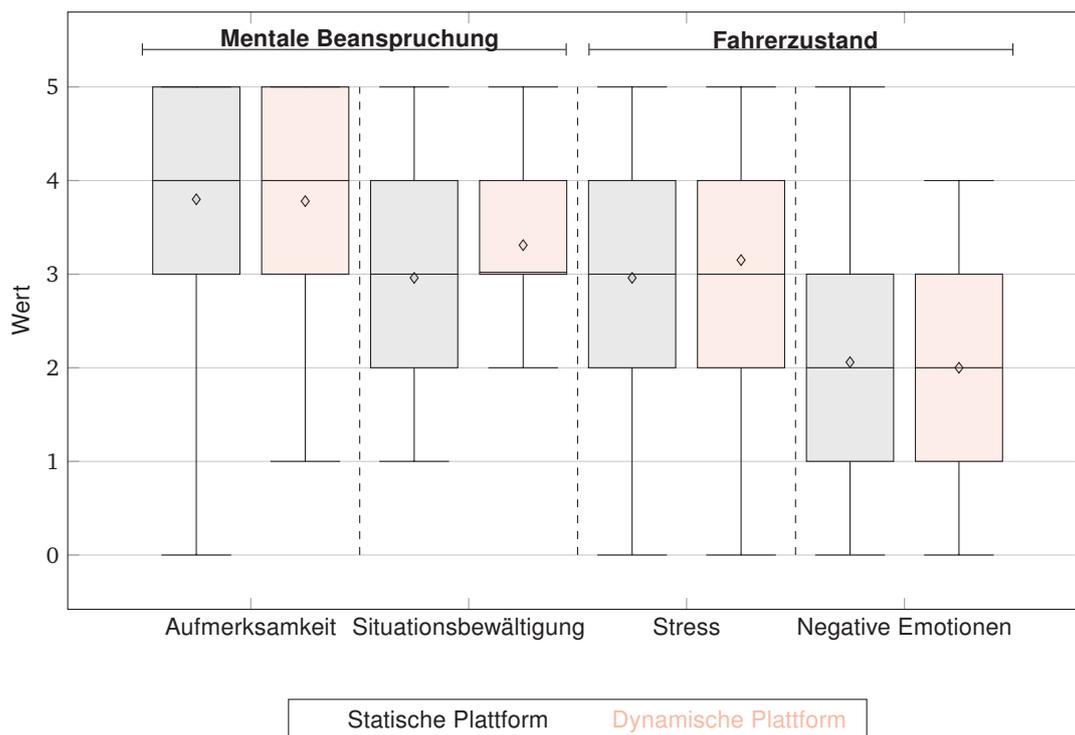


Abbildung 4.31: Mentale Beanspruchung und Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.

0.002 $p_{DP} = 0.008$) und dem Anteil an negativen Emotionen ($p_{SP} = 0.010$ $p_{DP} = 0.017$), daher wird der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test verwendet.

Für den Aufwand an Aufmerksamkeit wird kein signifikanter Unterschied festgestellt ($t(62) = 0,356, p = 0.723$). Betrachtet man die Verteilungen Aufwand zur Situationsbewältigung ($p = 0.231$), Situationsbedingter Stress ($p = 0.565$) und Anteil an negativen Emotionen ($p = 0.862$) liegt kein signifikanter Unterschied vor, siehe Tabelle 4.48 und 4.49.

Tabelle 4.48: Beantwortung der Hypothese

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0B}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied in der mentalen Beanspruchung.	Angenommen

Tabelle 4.49: Beantwortung der Hypothese

Kodierung	Hypothese	Ergebnis
H_{0C}	Bei den Plattformkonfigurationen besteht kein signifikanter Unterschied im Fahrerzustand.	Angenommen

Fragebogen zur Simulatorkrankheit

Die Auswertung des SSQ hat den Zweck einer langfristigen Beobachtung des Verlaufs für die weiteren Studien. Die endgültige Auswertung wird in Kapitel 5 diskutiert.

Tabelle 4.50: Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen, für die statische Plattform.

	Übelkeit	Okulomotorik	Desorientierung	Gesamtscore
Median	09.54	07.58	13.92	14.96
Mittelwert	18.48	10.42	14.79	16.36
Standardabweichung	17.79	09.76	18.00	13.35

Tabelle 4.51: Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen, für die dynamische Plattform.

	Übelkeit	Okulomotorik	Desorientierung	Gesamtscore
Median	19.08	15.16	13.92	16.83
Mittelwert	25.63	14.92	18.70	22.44
Standardabweichung	27.78	15.34	19.56	20.63

4.3.5 Diskussion

In dieser Studie wurde eine isometrische Lenkung mit zwei Plattformkonzepten für die Anwendung in der Motorradfahrsimulation untersucht. Konzept 1: Statische Fahrsimulatoren finden Anwendung bei Pkw-Studien und werden zur Untersuchung von Entwicklungswerkzeugen und Fahrverhaltensanalysen verwendet [166] [167]. Neben der Kraftvorgabe ist der visuell dargestellte Rollwinkel für die Manöverumsetzung Spurwechsel und Kreisfahrt das größte Unterscheidungsmerkmal im Vergleich zur Motorradfahrsimulation. Konzept 2: Dynamische Fahrsimulatoren ermöglichen es, durch ein Bewegungssystem andere Sinnesreize des Menschen künstlich zu stimulieren, um die Fahrsituation realistischer zu gestalten. Daher stellt sich die Frage, ob die vestibuläre Rückmeldung des Rollwinkels für ABK-Motorradfahr-Simulatoren notwendig ist.

Notwendig wird eine Maßnahme, wenn diese einen bestimmten Zustand oder ein Ergebnis benötigt [168]. Als Kriterien dafür sind in Tabelle 4.32 die fünf Hypothesen formuliert, die eine Notwendigkeit darstellen können. In Kapitel 2.4 ist die Motorradfahr-Simulation aufgrund des fehlenden Mensch-Maschine-Verständnisses, worauf auch die Hypothesen basieren, als forschungsrelevantes Entwicklungsziel nach Popov, Rowell und Meijaard [21] eingegliedert.

Die Fahrszenarien Spurwechsel und U-Turn wurden gewählt, um den Einfluss der Rückmeldung beider Konzepte anhand eines mittleren Effektes und durch eine vergleichsweise geringe Stichprobe von 32 Teilnehmern generell messbar zu machen.

Ausfall von Probanden

Als kritisches Merkmal wird die Ausfallquote gesehen. Der Ausfall von Teilnehmern aufgrund von Kinetose kann neben einem höheren Aufwand durch eine Neurekrutierung auch als Indiz für einen für den jeweiligen Einsatzzweck nicht geeigneten Simulator betrachtet werden. Schlechtes Wohlbefinden führt trotz erfolgreichen Durchführungen zu ABK-Studienergebnissen, die für eine ähnliche Untersuchung in der Realität nicht vergleichbar sind. Dadurch geht der grundlegende Vorteil eines Fahrsimulators, der sich durch die Nähe zur Realität definiert, verloren. In dieser Untersuchung lag die Ausfallquote bei 24,5 % (11 Probanden). Im Vergleich zu Studie 2 wird von einer Ausfallquote von 0 % berichtet. Unter Einbezug von Tabelle 4.50 (statische Plattform)

und 4.51 (dynamische Plattform), ist erkennbar, dass der SSQ-Wert Übelkeit im Median doppelt so hoch bewertet wurde. Es gab keine Anmerkungen der erfolgreichen Teilnehmer hinsichtlich Unwohlseins oder Übelkeit. Untersucht werden sollte, welchen Einfluss die gewählten Fahrzenarien auf den Ausfall von Probanden zusammen mit den Plattformkonzepten haben. Ein Vergleich der Kinetose über alle Versuche wird in Kapitel 5.1 näher diskutiert.

Mentale Beanspruchung und Fahrerzustand

Die mentale Beanspruchung und dem Fahrerzustand weisen keinen signifikanten Unterschied auf (Abbildung 4.31). Die Mediane und Mittelwerte sind gleich bewertet, insgesamt jedoch hoch. Da in Studie 1 die gleiche Messmethode verwendet wurde (Kapitel 4.1.3 Abbildung 4.9), wird von einer Interaktion des Unwohlseins auf die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand ausgegangen. Die statische und dynamische Plattform weisen im Vergleich zu Studie 1 ähnliche Mediane in den Items bei der Kraftvorgabe auf. Als kritisch kann betrachtet werden, dass der Fragebogen RALI aufgrund der vorgeschlagenen Skala nach Pauzié und Gelau [62] möglicherweise nicht sensitiv genug für dies Art der Untersuchung ist.

Eine ähnliche Studie mit einer Skala, wie sie in Studie 2 genutzt wurde, kann zu anderen Ergebnissen führen. Zudem sollte eine Untersuchung ohne die Fahraufgabe mittleres Durchfahren gewählt werden, um die reine Beanspruchung des Simulators zu ermitteln.

Standardabweichung der lateralen Position

Die SDLP ist ein objektives Kriterium, welches das Ziel hat, die Pendelbewegung und damit die Erfüllung der Stabilisierung zu bewerten. Obwohl für den Spurwechsel (Abbildung 4.24) und den U-Turn (Abbildung 4.26), keine Signifikanz vorliegt, ist ein geringerer Interquartilsabstand zu sehen. Für den Spurwechsel mit einer dynamischen Plattform tritt eine Pendelbewegung als Standardabweichung im Median von $\tilde{X}_{DP} = 0.27$ m mit einem Interquartilsabstand von 0.1 m auf. Für die statische Plattform wurde ein Abstand von 0.4 m und einem Median von $\tilde{X}_{SP} = 0.42$ m ermittelt. Unter Einbezug der Frage Konnten Sie der Fahrspur folgen?, die subjektive Erfüllung bewertet, sind keine Unterschiede der Mediane oder Mittelwerte feststellbar.

Für den U-Turn, siehe Abbildung 4.26 b), wurde im Median ein deutlich größerer Wert ermittelt, der unter den Konzepten keine Unterschiede aufweist. Beobachtet wurde, dass die Probanden Schwierigkeiten hatten, das Fahrzeug am Übergang der Scheitelpunkte zu der geraden Strecke zu stabilisieren. Damit erklären sich auch die gemessenen, großen Abweichungen. Proband 25 kommentierte: „*Dynamische Plattform deutlich agiler, bildet das aufrichtverhalten und einlenkverhalten besser ab. C aber noch nicht perfekt —> lenkwinkel und lenkbefehl passen.*“ Dieser Kommentar beschreibt die bessere Gesamtwahrnehmung durch die zusätzliche Stimulierung des vestibulären Sinnes. Kritisch betrachtet wird dennoch, ob dieser und auch andere Probanden die zusätzliche Stimulierung oder die zusätzliche Bewegung des Systems bewerten.

Kritisch betrachtet wird, außerdem, dass alle Teilnehmer die Störgröße *akustische Wahrnehmung der Plattform* angaben. Damit kann in dieser Untersuchung nicht von einer Blindstudie ausgegangen werden.

LANEX

Dieses Spurüberschreitungsmaß ermittelt Fahrfehler bei einer Überfahrt der Fahrbahnbegrenzung. In der Untersuchung wird dieses Maß als prozentualer Fehler angegeben und beschreibt damit den prozentualen Anteil außerhalb der Fahrbahn. Die Spurüberschreitung hat für den

Spurwechsel der statischen Plattform infolge einer mittleren Verteilung einen Wert von $\bar{X}_{SP} = 2.5$ % (Abbildung 4.25). Der Median beträgt $\tilde{X}_{SP} = 0$ % und das 75 Perzentil 5 %. Im Bezug zur SDLP, die die Pendelbewegung beschreibt, erscheint die Stabilisierung anhand einer statischen Plattform gegenüber der dynamischen Plattform schwerer erfüllbar. Für den U-Turn wurde wiederum für beide Konzepte ein gleicher Median von $\bar{X} = 7.6\%$ gemessen. Dennoch ist der Interquartilsabstand mit 19.7 % für die statische Plattform doppelt so groß wie die der dynamischen Plattform. Bei beiden Konzepten weist das 25 Perzentil einen Wert von 0.7 % auf. Das bedeutet, dass die Probanden während dieses Fahrmanöver sich meistens außerhalb der Fahrbahnbegrenzung befunden haben.

Betrachtet man die Fahrmanöver als Schwierigkeitsgrad, ist aus den Daten des SDLP und LANEX ersichtlich, dass der U-Turn die größte Herausforderung darstellt. Eine Weiterentwicklung sollte zunächst anhand des Kriteriums *Erfüllung des Spurwechsels* und mit Messwerten aus der Realität erfolgen.

Fragebogen Rollbewegung und Erfüllung der Fahraufgabe

Dieser Fragebogen bewertet die visuelle und vestibuläre Wahrnehmung der Schräglage und den Grad der Aufgabenfüllung. Die visuelle Wahrnehmung der Schräglage wurde bei beiden Konzepten ähnlich gut bewertet (Abbildung 4.28). Während der Realismus im Median bei beiden Konzepten vier beträgt, wurde die statische Plattform mit 18 Stimmen am häufigsten mit fünf von sechs Punkten bewertet. Die 1:1 Darstellung könnte zukünftig als Vergleichswert für die Entwicklung von Motion Cueing Algorithmen, die die visuelle Darstellung manipulieren, verwendet werden.

Für die vestibuläre Bewertung wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt. Obwohl beide Mediane einen Wert von $\tilde{X}_{DP} = 3$ aufweisen, wurde die statische Plattform häufiger als unrealistisch bewertet. Wie bereits zuvor erwähnt, besteht auch hier die Möglichkeit, dass die Probanden die reine Bewegung bereits als realistischer erachteten. In Studien, die keine Relevanz in dieser Untersuchung hatten, wurde von allen Probanden angemerkt, dass die Bewegung des Fahr-simulators realistisch erscheint, obwohl ein statischer Fahrsimulator verwendet wurde. Diese Bewertung ist ein weiterer Grund, eine ähnliche Studie zu designen und eine Blindversuch durchzuführen.

Die Bewertung der Aufgabenerfüllung als subjektives Kriterium soll neben der SDLP und LANEX die subjektive Meinung der Probanden wiedergeben. Die Bewertung der Aufgabe ist mit einem gleichen Median $\bar{X} = 3$ und einer gleichen Standardabweichung $\sigma = 0.94$ konträr zu den Werten SDLP und LANEX zu betrachten. Basierend auf diesen objektiven Messgrößen würde erwartungsgemäß die Aufgabenfüllung für die dynamische Plattform besser bewertet werden. Die Ähnlichkeit beider Konzepte zeigt, dass die Aufgaben aus Sicht der Probanden gleich schlecht oder gut erfüllt wurden und relativiert die unterschiedlichen Ergebnisse von SDLP und LANEX. Für eine zukünftige Bewertung soll weiterhin die subjektive Aufgabenerfüllung ermittelt werden. Eine andere Fahraufgabe ist jedoch möglicherweise besser geeignet, weil das mittige Durchfahren eine hohe kognitive Leistung erfordert. Da Motorradfahrer, anders als Autofahrer, nicht mittig fahren, wäre eine Baseline eine Möglichkeit, um die persönliche SDLP zu ermitteln und in Vergleich zu anderen Konzepten zu stellen.

Für die Nutzung eines ABK-Motorradfahrersimulators mit einer isometrischen Lenkung kann eine statische Plattform genutzt werden. In dieser letzten Studie, konnte keine Verbesserung der Fahrperformance ermittelt werden. Es liegen in der SDLP und im LANEX Tendenzen vor, die weder signifikant sind noch als fast signifikant eingestuft werden können. Vergleicht man

die Ausfallquoten der Studien, ist eine große Differenz zu erkennen. Studie 3 weist 24 % auf, während in Studie 2 keine Ausfälle zu verzeichnen sind. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass sich die Motorradfahrtsimulation im Gegensatz zum Pkw-Segment, wo bereits hochdynamische Fahrsimulatoren eingesetzt werden, noch in den Anfängen der Forschung und Entwicklung befindet.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wird zunächst der Verlauf der Simulatorkrankheit über Studie 1, 2 und 3 beschrieben. Damit ist es möglich die durchgeführte Weiterentwicklung, hinsichtlich der Kinetose, zu bewerten. Anschließend erfolgt eine Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen und eine Eingliederung des Simulators als Entwicklungswerkzeug. Der Abschluss zeigt das Potential und der erforderlichen Schritte zur Verbesserung der Erlebbarkeit hinsichtlich einer realistischen Abbildung der virtuellen Fahrt.

5.1 Verlauf der Simulatorkrankheit

In dieser Forschungsarbeit wurde die Simulatorkrankheit über drei Studien erfasst, um abschließend den Verlauf zu bewerten. Die Simulatorkrankheit ist eine negative Erscheinung, die unerwünschte Effekte wie Schwindelgefühl, Übelkeit und körperliches Unbehagen zur Folge hat [169]. Ihre Ausprägung variiert in Abhängigkeit von der Dauer und Häufigkeit, der Anfälligkeit der Person sowie der Erfahrung mit dem Stimulus [8, S. 13-15].

In der modernen Pkw-Fahrsimulation besteht die Möglichkeit, dass es selten bis gar nicht zu Studienabbrüchen aufgrund von Simulatorkrankheit kommt [97, S. 104-105]. Rückzuführen ist das auf die Nutzung von technisch guten Simulatoren und der dazugehörigen Bewegungsalgorithmen. Dennoch kann es zu Ausfällen durch eine lange Exposition oder einem hohen Maß an Anstrengung kommen [8, S. 14-15] [170, S. 119] [171]. Den augenscheinlich größten Unterschied zwischen der Pkw- und Motorradfahrsimulation macht die Fahrbarkeit von dynamischen Fahrscenarien aus. In allen drei Untersuchungen mussten dynamische Szenarien entfernt oder in der Ausführung der Fahrdynamik abgeschwächt werden, damit keine starke Kinetose auftritt.

Im Rahmen der Motorradfahrsimulation wird von geringen bis hin zu kritischen SSQ-Werten berichtet, in denen es bis zur Entleerung des Magens kommt [172] [173] [71] [80] [24]. Diese Symptome können Studienergebnisse beeinflussen und zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führen. Ein weiteres Problem stellen Ausfallraten dar, die zu hohen Kosten und zeitlichen Verzögerungen führen, weil es bei einem Ausfall von Probanden zu Neueinladungen kommt. Lobjois und Mars [24] untersuchten unterschiedliche Lenkkonfigurationen und das Blickverhalten auf die Fahrperformance, die Strategie des Lenkverhaltens und des Realitätsempfindens. Sie schlussfolgerten, dass die *Countersteering*-Lenkung den SSQ-Wert und das Fahrverhalten verbessert, jedoch das mentale Modell dennoch nicht dem virtuellen Fahrverhalten entspricht.

In Abbildung 5.1 sind der Mittelwert als Balkenhöhe, der Median als Dreieck und die Standardabweichung als Fehlerbalken dargestellt.

Die Ergebnisse basieren auf Studie 1, beschrieben in Kapitel 4.1, Studie 2, beschrieben in Kapitel 4.2 und Studie 3 beschrieben in Kapitel 4.3. Das Ziel in Studie 1 war es, zu ermitteln, welche Lenkinteraktion zu einem regelbasierten Verhalten führt. Aufgrund des Studiendesigns wurde

der SSQ-Fragebogen nach einem Gesamtdurchlauf ohne Unterscheidung der Lenkkonzepte genutzt. Die Werte sind kumuliert, daher besteht keine Möglichkeit einer Aufteilung. Zu beachten ist, dass das Auftreten der Simulatorkrankheit mit den jeweiligen Symptomen bis zu einigen Stunden anhalten kann und sich damit ein Within-Subjects-Design mit zwei Ausprägungen gegenseitig beeinflussen. Dennoch wird der SSQ diskutiert, weil die Symptomausprägungen über die Weiterentwicklung der Lenkkonzepte von Interesse sind.

Bei dem Vergleich der Symptomausprägungen in Studie 1 und 2 fällt auf, dass alle Subskalen, außer die Okulomotorik, bis zu einem Drittel höher bewertet wurden. Die Symptomausprägung Übelkeit sinkt im Mittelwert um 31 %. Diese Verbesserung ist auf die reduzierten Pendelbewegungen, bewertet als SDLP, und dem Ausbleiben von Stürzen zurückzuführen. In Studie 3 ergibt sich für die statische Anwendung ein ähnlicher Wert im Vergleich zu Studie 2. Der leicht erhöhte Mittelwert lässt sich bei gleichbleibendem Median anhand der dynamischen Fahrmanöver und der erhöhten visuellen Rollraten bei einem gleichbleibenden Median begründen. Diese Beobachtung bestätigt die Anwendungsrechte Empfehlung der Motorradfahrersimulation, beschrieben in Kapitel 1. Für die Anwendung mit einer dynamischen Plattform wird ein hoher Anstieg beobachtet. Die Symptomausprägung weist für den Mittelwert und die Standardabweichung einen höheren Wert auf und bildet damit im Kontext der Simulatorkrankheit einen ähnlich schlechten Wert zu Studie 1.

Hohe Werte bei der Okulomotorik können Hinweise auf problematische Eigenschaften bzgl. des Sichtsystems geben. Neben dem Abstand zur Leinwand und dem Sichtfeld kann die Unschärfe oder Verzögerungen der Darstellung hohe Werte hervorrufen [174, S. 43-44] [175]. Da bei allen Studien derselbe Aufbau verwendet wurde, weisen alle Werte der Subskala Okulomotorik ähnliche Werte auf. Lediglich bei der statischen Plattform aus Studie 3 ist ein Drittel geringerer Wert verzeichnet worden. Eine Erklärung dafür könnte ein Geschlechtereffekt sein, weil bei Studie 3 Frauen teilgenommen haben, von dem auch Neukum und Grattenthaler [8, S. 47-49] berichten.

Die Desorientierung weist für Studie 2 und Studie 3 ähnliche Werte auf. Auch für diese Subskala wurde durch Neukum und Grattenthaler, Bertin et al. und Hösch [174] ein signifikanter Geschlechtereffekt beobachtet. Die Desorientierung beschreibt eine Störung des Gleichgewichtssinnes, wenn beispielsweise Bewegungsabfolgen nicht mit der Erwartung übereinstimmen oder wenn visuelle Hinweisreize ohne Reizantworten durch eine Bewegungssimulation stattfinden [176, S. 43-44] [177, S. 247-278].

Der Gesamtscore ist die Summe der Subskalen und ermöglicht eine globale Einschätzung des Ausmaßes der Simulatorkrankheit. Der Verlauf des Gesamtscores ist ähnlich zur Subskala Übelkeit mit dem niedrigsten Wert bei Studie 2. Da in der zweiten Studie keine vergleichbaren dynamischen Anteile vorhanden waren, um die Fahrperformance zu messen, bestätigt sich die anwendungsgerechte Nutzung des Motorradfahrersimulators für Methodenuntersuchungen im Bereich der ABK-Evaluierung. In Studie 3 ist für die statische Anwendung ein leichter Anstieg des Gesamtscores zu sehen. Dies lässt sich jedoch auf die anspruchsvollen Manöver zurückführen. Für den dynamischen Versuch ist ein Gesamtscore ermittelt worden, der Studie 1 gleicht. In Studie 3 wurden die Erkenntnisse aus Studie 1 und Studie 2 angewandt (kraftbasierte Lenkung), weshalb schlussgefolgert wird, dass es sich um eine Bewegungskrankheit handelt. Die verbesserte Fahrperformance mit einer nicht signifikanten, mentalen Beanspruchung weist auf ein Problem des Bewegungsalgorithmus hin, das näher untersucht werden sollte.

Die Entwicklung der Simulatorkrankheit, insbesondere in Studie 2, zeigt die deutliche Verbesserung der isometrischen Rückmeldung und der Positionsrückmeldung für die Anwender in der

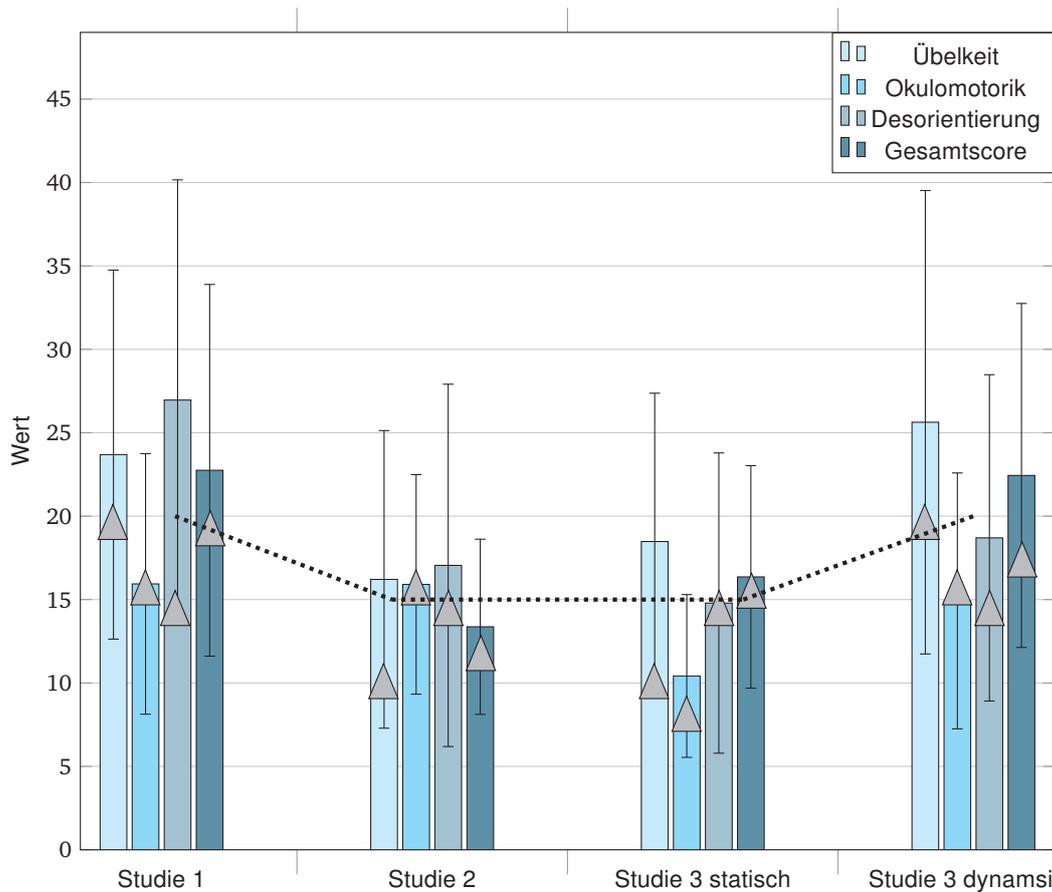


Abbildung 5.1: Zu sehen sind die SSQ-Werte für die Simulatorkrankheit mit den Items Übelkeit, Okulomotorik, Desorientierung und Gesamtscore, wobei die Balkenhöhe den Mittelwert darstellt, die Verteilung die Standardabweichung widerspiegelt und das Dreieck den Median abbildet. Die Werte sind aus den Tabellen 4.13, 4.30, 4.50 und 4.51 entnommen. Die gepunktete Linie stellt den qualitativen Trend dar, je höher der Wert, desto schlechter das Wohlbefinden.

Motorradfahrersimulation. Es konnte ein regelbasiertes Verhalten festgestellt werden, das sich in der dynamischen Betrachtung der Studie 3 verschlechtert, was wiederum darauf hindeutet, dass die Bewegungsplattform und der Algorithmus problematisch sein können. Für zukünftige Untersuchungen sollte der SSQ angewandt und eine Weiterentwicklung von Bewegungsalgorithmen für die Motorradfahrersimulation angestrebt werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Nutzung eines statischen Motorradfahrersimulators für die Untersuchung von ABK im Bezugsrahmen der Simulatorkrankheit besser geeignet ist.

5.2 Zusammenfassung

Die Nutzung von Fahrsimulatoren zur Untersuchung von Anzeige und Bedienkonzepten im Zweispurbereich ist etabliert und wird bereits in unterschiedlichen technischen Ausprägungen angewandt. Gründe für diese anspruchsvollen Simulatoren sind das Bedürfnis von gut evaluierten Fahrerassistenzsystemen und Bedienkonzepten. Im Einspurbereich ist ein Anstieg von Assistenzsystemen zu bemerken, der inzwischen ähnliche Untersuchungsmethoden erfordert [25]. Betrachtet man nun die Anzahl an etablierten Motorradhersteller, die Assistenzsysteme anbieten und evaluieren, reduziert sich diese auf zwei bis drei Hersteller [25]. Für die Motorradfahrsimulation stellt diese Betrachtung eine Problematik im Aspekt der Forschung dar, weil Hochschulen, Institute und Universitäten kaum bis gar keine Forschung in diesem Bereich betreiben. Eine Möglichkeit, diesen Umstand zu verbessern, wären kostengünstige Motorradsimulatoren, die eine Weiterentwicklung und Untersuchung ermöglichen.

In dieser Dissertation wird zunächst der fehlende Konsens in der Bedienung einer Lenkung eines Motorradfahrsimulators diskutiert. Die Konzepte der kraft- und positionsbasierte Interaktion wird näher beschrieben und mit unterschiedlichen Motorradsimulatoren belegt. Davon abgeleitet wird die erste Forschungsfrage formuliert:

Forschungsfrage 1

Welche Lenkinteraktion führt im Rahmen der Motorradfahrsimulation zu einem regelbasierten Verhalten?

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage erfolgt anhand des Verhaltensmodells des Menschen im Kontext zur Fahraufgabe und der Zuordnung der Interaktionen in den Verhaltensebenen durchgeführt. In diesem Zusammenhang werden Methoden und Kriterien genannt, die eine Zuordnung ermöglichen. Die Bestimmung der Interaktionsgröße erfolgt anhand verschiedener Fahrmanöver, die die Fahraufgabe darstellen sowie einer Messung der Fehlbedienungen und der Leistung. Es wurde festgestellt, dass die kraftbasierte Interaktion ein regelbasiertes Verhalten erkennen lässt. Für die positionsbasierte Bedienung wurde aufgrund des Erlernens einer Regel das wissensbasierte Verhalten zugeordnet.

In der darauffolgenden Untersuchung wird der fahrdynamische Zusammenhang für den geringen Lenkwinkelverlauf für einen höheren Geschwindigkeitsbereich diskutiert. Die Bedienkonzepte einer Positionsrückmeldung und einem isometrischen Aufbau mit einer Kraftvorgabe bilden die zweite Forschungsfrage.

Forschungsfrage 2

Stellt die Rückmeldung des Lenkwinkels eine Notwendigkeit für die Motorradfahrsimulation dar?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage werden Untersuchungen aus dem Bereich des Lenkgefühls und des Fahrverhaltens herangezogen und auf kognitive Ressourcen des Menschen referenziert. Zusätzlich wird eine Nebenaufgabe gewählt, die darauf ausgelegt ist, Fahraufgabe passiv erfüllen zu lassen. Damit soll ein fertigkeitbasiertes, also ein unbewusstes, Lenken provoziert werden, um Unterschiede in der mentalen Beanspruchung, der Fahrerleistung und im Lenkgefühl festzustellen. Trotz einer passiven Erfüllung der Fahraufgabe für beide Konzepte, fand eine Zuordnung in die Ebene des regelbasierten Verhaltens statt. Zudem konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, die zu einer Ablehnung eines Konzeptes führen.

Daher wurden beide Konzepte annähernd als gleich befunden. Eine Einschränkung bildet die Verteilung des Mittelwertes im Lenkmoment. Diese Erkenntnis kann genutzt werden, um Kosten in der Bedienung der Lenkung einzusparen und Motorradfahrersimulatoren für ABK-Untersuchungen weiter zu etablieren.

Den Abschluss bildet eine Untersuchung, die den Ausblick für die Motorradfahrersimulation darstellt. Basierend auf dem Vorgehen aus Studie 1 und Studie 2 wird eine Untersuchung mit einer dynamischen Plattform vorgeschlagen. Angelehnt an das Verhaltensmodell des Menschen, wird die dritte Forschungsfrage aufgrund der Erweiterung der sensorischen Information anhand des Rollwinkels gebildet.

Forschungsfrage 3

Stellt die Rückmeldung des Rollwinkels anhand einer dynamischen Plattform eine Notwendigkeit für die Motorradfahrersimulation dar.

Die Beantwortung der Forschungsfrage wird anhand von Methoden aus den vorherigen Studien gewählt. Die Untersuchung wird anhand einer gleichen Fahraufgabe mit ähnlichen Fahrscenarien durchgeführt. Die vorgeschlagenen Messungen, insbesondere der Fahrerleistung und mentalen Beanspruchung, bilden die Kriterien für eine Empfehlung. Zusätzlich wird der Verlauf der Simulatorkrankheit genutzt, um über die durchgeführte Entwicklung Verbesserungen aufzuzeigen. Festgestellt wurde, dass die dynamische Plattform eine negative Auswirkung auf alle Kriterien besitzt. Zudem wurde ein Anstieg der Simulatorkrankheit beobachtet, der zu einem Abbruch einer Untersuchung führen kann. Daher wird empfohlen, keine dynamische Plattform mit dem entsprechenden Bewegungsalgorithmus zu nutzen.

Über die gesamte Untersuchung wurde gezeigt, dass moderne Motorradfahrersimulatoren ein hohes Potenzial in der Nutzung für ABK-Studien besitzen. Die Ausführung der Fahraufgabe erfolgt regelbasiert, mit einer Tendenz zu einem fertigkeitbasierten Verhalten, das anhand weiterer Untersuchungen bestätigt werden kann. Die kraftbasierte Bedienung bildet die richtige Interaktionsgröße und sollte bei zukünftigen Aufbauten immer genutzt werden. Es konnte auch gezeigt werden, dass ein isometrischer Aufbau im Vergleich zu einer Positionsrückmeldung eine gute Alternative darstellt. Der regelungstechnische Aufwand und die Kosten reduziert sich, womit es möglich ist, günstige Simulatoren aufzubauen.

5.3 Ausblick

Studie 3 bildet einen Ausblick für die Motorradfahrersimulation, weil die Entwicklung einer dynamischen Plattform und geeigneter Algorithmen das größte Potenzial bildet. Es wird vorgeschlagen, sich an dem Vorgehen in dieser Arbeit zu orientieren und gleiche Methoden zu nutzen. Damit kann eine Vergleichbarkeit der Untersuchungen gewährleistet werden, um eine kritische Diskussion zu ermöglichen. Zusätzlich sollte das Verhaltensmodell des Menschen weiter herangezogen werden, vor allem im Bereich der sensorischen Information und der Reiz-Reaktion-Automatismen, um sorgfältige Experimente zu designen. Die Aussage von Popov, Rowell und Meijaard [21] bestätigt, dass die fahrdynamische Modellierung hinreichend vorhanden ist und moderne Motorradsimulatoren aufgebaut werden sollten. Im Kontext zur technischen Realisierung sollten Hersteller in Betracht gezogen werden, die geringe Latenzen anhand von echtzeitfähigen Protokollen und eine schnelle Fahrzeugreaktion, beispielsweise mit reibungsarmen Linearmotoren, aufweisen. Damit kann eine synchrone und realistischere Rückmeldung an den Fahrer ermöglicht

werden. Als zu untersuchende menschliche und sensorische Information wird der Rollwinkel, also das Vestibularorgan, oder auch stimulierendes Organ genannt, vorgeschlagen. Damit besteht die Möglichkeit einer Verbesserung der Fahraufgabe in niedrigen Geschwindigkeitsbereichen und einer realistischeren Motorradfahrtsimulation.

In Studie zwei kam es zu einer besonderen Beobachtung. Ein Fahrer war nicht in der Lage, den Motorradfahrtsimulator zu fahren, ohne dass es zu großen Abweichungen zu der Fahrbahnmitte kam. Noch während der Trainingsfahrt brach der Proband den Versuch aufgrund der für ihn aussichtslosen Fahrbarkeit ab. Dieser Fahrer kommentierte, dass er viele Jahre Fahrerfahrung besitzt und der Fahrsimulator keine realistische Bedienung über den Lenker ermöglicht. In der gemeinsamen Diskussion und bei Erklärungsversuchen, wie die Lenkung funktioniert, sagte er dem Studienleiter zu, dieses an seinem echten Motorrad umzusetzen und anschließend zu berichten. Kurze Zeit später berichtete er, dass der Leiter der Studie Recht hat und die Lenkinteraktion auf dem Motorradfahrtsimulator einem echten Motorrad entspricht. Zusätzlich beschrieb er, dass es ihm an der vestibulären Rückmeldung und wirkenden Kräften auf den Körper fehlt und es ihm daher schwerfiel, das Fahrzeug zu fahren. Eine Einordnung dieser Aussage in das Verhaltensmodell des Menschen in Abbildung 2.5 kann das erklären. In diesem Modell werden in der Ebene des fertigkeitbasierten Verhaltens sensorische Informationen und Signale verarbeiten. Anschließend erfolgt eine Ausführung des Automatismus oder dem Zurückfallen in die nächsthöhere Ebene bis hin zur Ebene des wissensbasierten Verhaltens. Vermutlich benötigt dieser Proband mehr sensorische Informationen, damit diese erkannt, assoziativ zugeordnet und die richtige Regel aus der Realität angewandt werden kann.

Nachfolgende Untersuchungen könnten den Einfluss einer technisch verbesserten dynamischen Plattform und einem hochdynamischen Fahrsimulator auf die Fahraufgabe und die Simulatorkrankheit haben. Es besteht die Möglichkeit, dass wie die in Untersuchung drei genutzte dynamische Plattform ungeeignet für die Motorradfahrtsimulation ist, weil die resultierenden Kräfte bei einer Kurvenfahrt nicht simuliert werden können. Aufgrund der besonderen Motorradfahrtdynamik wirken sich Flieh- und Schwerkraft auf den Fahrenden resultierend aus. Diese Kraft kann entweder durch ein geeignetes Rollen um den Sitzbereich simuliert oder durch eine Längs- und Querbewegung des Fahrsimulators erzeugt werden, wobei Letzteres eine hochdynamische Anwendung erfordert.

Im Rahmen von Diskussionen nach den Versuchen oder bei allgemeinen Tests am Fahrsimulator, wird immer wieder von Pendeln berichtet, das nicht realistisch ist. Die Personen gehen davon aus, dass sie während einer Motorradfahrt gerade und mit gar keiner Abweichung der Straßenmitte fahren. Eine Untersuchung in der Realität könnte durchgeführt werden, um die Ähnlichkeit oder sogar die Validität zu ermitteln. Damit könnte auch eine Baseline geschaffen werden, die als objektives Referenzkriterium genutzt werden könnte.

Bei einer Wiederholung dieser Untersuchung sollte der Fragebogen NASA TLX einheitlich bei allen Studien verwendet werden. Dieser Fragebogen bietet eine höhere Sensitivität aufgrund der Skaleneinteilung und kann kleinere Unterschiede besser erfassen. Zwar besitzt der RALI ein motorradspezifisches Item. Dieses kann jedoch in den NASA TLX mit einem entsprechenden Vermerk mitaufgenommen werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Angepasste Grafik für die Anwendung von Fahrsimulatoren im Entwicklungsprozess, der benötigten Validität und geeigneter MMI-Methoden nach Miličić [29].	4
Abbildung 2.1:	Schematische, reduzierte Darstellung des Kaskaden-Positionsreglers, der die technische Komponente der Mensch-Maschine-Schnittstelle darstellt.	6
Abbildung 2.2:	Übersicht der kognitiven Teilprozesse bei der Planung, Ausführung und Bewegung angepasste Darstellung nach [32, S. 265].	7
Abbildung 2.3:	Angepasste Grafik mit den Zusammenhängen Leistung, Beanspruchung, Belastung sowie der dazugehörigen Kategorien De Waard und Brookhuis [37] nach Yerkes, Dodson et al. [38].	8
Abbildung 2.4:	Angepasste Darstellung der Zusammenhänge zwischen Belastung, Leistungsvoraussetzungen, Beanspruchung und Leistung [39, S. 195].	9
Abbildung 2.5:	Reduzierte Darstellung der Verknüpfung des Handlungsmodells nach Rasmussen mit dem Drei-Ebenen-Modell nach Donges in Anlehnung an Wimmer [50].	11
Abbildung 2.6:	Fahrerlenkverhalten anhand eines regelungstechnischen Modellansatzes für die Führungs- und Stabilisierungsebene ursprünglich nach [55] zu angepasster Grafik [53, S. 19-22]. Diese Abbildung ist bereits mit der Erkenntnis aus dieser Forschungsarbeit angepasst - der Ausgang der Gesamtsumme ist ein Lenkmoment und entspricht damit Einspurfahrzeugen.	14
Abbildung 2.7:	Schematische Darstellung der Mensch Fahrzeug Schnittstelle nach Koch mit Bedienkonzepten nach Huang und Werle und Diermeyer.	20
Abbildung 2.8:	Angepasste Grafik mit den Bestandteilen des Fahrerlenkmoment nach Cossalter, Lot und Massaro [77, S. 150]	22
Abbildung 2.9:	Angepasste Grafik mit den Zusammenhängen Lenkwinkel, Rollwinkel, Geschwindigkeit und Kurvenradius nach Cossalter, Lot und Massaro [77, S. 150]. Diese Darstellung hat keine allgemeingültige Aussage, sondern soll den geringen Lenkwinkel verdeutlichen.	23
Abbildung 3.1:	Gesamtvorgehen für die Untersuchung einer isometrischen Lenkung.	26
Abbildung 4.1:	Simplifizierte Darstellung der unabhängigen und abhängigen Variablen ohne die Störvariable Fahrerfahrung	29
Abbildung 4.2:	a) Motorradfahrsimulator innerhalb der 310° Leinwand b) konfigurierbarer Aufbau mit Isometrischer- oder Positionsrückmeldung.	29
Abbildung 4.3:	Fahrszenarien für die Leistungsmessfahrt a) Stationäre Kreisfahrt mit drei Umrundungen b) Doppelter U-Turn mit unterschiedlichen Radien c) Einfacher Spurwechsel.	31
Abbildung 4.4:	Versuchsablauf der ersten Studie zur Ermittlung der Interaktionsgröße unterteilt in Reiz- Reaktionsfahrt und der Leistungsmessfahrt.	34

Abbildung 4.5:	Anzahl der Stürze beim Erstkontakt mit den Lenkkonfigurationen.....	37
Abbildung 4.6:	SDLP Performance für den Spurwechsel mit den Interaktionen Lenkwinkel und Lenkmoment.	37
Abbildung 4.7:	SDLP Performance für die stationäre Kreisfahrt für einzelne Umrundungen in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.	38
Abbildung 4.8:	SDLP Performance für den U-Turn in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.	39
Abbildung 4.9:	Mentale Beanspruchung und Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.	41
Abbildung 4.10:	Gemessene Einschwingzeiten im verbauten Zustand mit Näherungsfunktion und den Wahrscheinlichkeitsgrenzen der Einschwingzeiten.	48
Abbildung 4.11:	Gemessene Regelabweichung während einer Geradeausfahrt bei einer Geschwindigkeit von etwa $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	49
Abbildung 4.12:	2×2 Faktorieller Versuchsplan, Faktor A enthält die zwei Lenkkonfigurationen und Faktor B zwei unterschiedliche Belastungen mit den abhängigen Variablen aus den Hypothesen in Tabelle 4.17.	51
Abbildung 4.13:	Versuchsablauf der zweiten Studie zur Ermittlung der Notwendigkeit einer Positionsrückmeldung; Dargestellt ist die Eingewöhnung (Abschnitt 1), die Randomisierung (Abschnitt 2) und die sekundäre Betrachtung der invertierten Positionsrückmeldung (Abschnitt 3).	56
Abbildung 4.14:	Darstellung der mentalen Beanspruchung für die Lenkkonzepte isometrisch und Positionsrückmeldung mit und ohne Nebenaufgabe, erfasst anhand des NASA TLX.	59
Abbildung 4.15:	Verteilung des Mittelwertes vom Lenkmoment für beide Konzepte und mit sowie ohne Nebenaufgabe.	60
Abbildung 4.16:	Darstellung der Rollraten für die Lenkkonzepte isometrisch und Positionsrückmeldung mit und ohne Nebenaufgabe.	61
Abbildung 4.17:	Histogramm der Fragen 1 und 2 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl. ..	62
Abbildung 4.18:	Histogramm der Fragen 3 und 4 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl. ..	63
Abbildung 4.19:	Histogramm der Fragen 5 und 6 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl. ..	63
Abbildung 4.20:	Angepasster Regelkreis auf das Mensch Maschine System mit den möglichen Ausprägungen A und B.	74
Abbildung 4.21:	Skizzierte Darstellung der dynamischen Plattform.	74
Abbildung 4.22:	Darstellung der unabhängigen und abhängigen Variablen bei Studie 3. ...	76
Abbildung 4.23:	Versuchsablauf der zweiten Studie zur Ermittlung der Notwendigkeit einer Positionsrückmeldung; Dargestellt sind die Eingewöhnung, die Randomisierung und die sekundäre Betrachtung der invertierten Positionsrückmeldung.	79
Abbildung 4.24:	Boxplot der SDLP für eine statische und dynamische Plattform für das Spurwechselmanöver.	81
Abbildung 4.25:	Boxplot des LANEX Fahrfehlers als prozentuale Verteilung der gefahrenen Zeit außerhalb der Fahrbahn.	82
Abbildung 4.26:	Boxplot der SDLP für eine statische und dynamische Plattform für den U-Turn.	82
Abbildung 4.27:	Boxplot des LANEX Fahrfehlers als prozentuale Verteilung der gefahrenen Zeit außerhalb der Fahrbahn.	83
Abbildung 4.28:	Balkendiagramm mit den Enden unrealistisch und realistisch zur visuellen Darstellung der Schräglage.	84
Abbildung 4.29:	Histogramm der Fragen 1 und 2 aus dem Fragebogen zum Lenkgefühl. ..	85

Abbildung 4.30: Aufgabenerfüllung	86
Abbildung 4.31: Mentale Beanspruchung und Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Lenkinteraktionen.	88
Abbildung 5.1: Zu sehen sind die SSQ-Werte für die Simulatorkrankheit mit den Items Übelkeit, Okulomotorik, Desorientierung und Gesamtscore, wobei die Balkenhöhe den Mittelwert darstellt, die Verteilung die Standardabweichung widerspiegelt und das Dreieck den Median abbildet. Die Werte sind aus den Tabellen 4.13, 4.30, 4.50 und 4.51 entnommen. Die gepunktete Linie stellt den qualitativen Trend dar, je höher der Wert, desto schlechter das Wohlbefinden.	95
Abbildung C.1: Aufgezeichnete Soll- und Istposition der Positionsrückmeldung, zur Beurteilung der Regelgüte im Betrieb und mit nichtlinearen Störgrößen	xcix

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Aufteilung der Kriterien in Einfluss und Auswirkung in Bezug zu den Zusammenhängen in Abbildung 2.4.	9
Tabelle 2.2:	Übersicht der vorhandenen Motorradfahrersimulatoren mit Bedienkonzept und Erscheinungsjahr.	19
Tabelle 4.1:	Fragestellung und abgeleitete Hypothesen zur Interaktionsgröße und des Leistungsmaßes	30
Tabelle 4.2:	Fragebogen nach Kennedy et al. [64] mit verwendeten, entfernten Dimensionen und Gewichtungen für die Rechenvorschrift.	33
Tabelle 4.3:	GPower Tabelle	35
Tabelle 4.4:	Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für den Spurwechsel.....	37
Tabelle 4.5:	Kumulierte Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für die stationäre Kreisfahrt.	38
Tabelle 4.6:	Anzahl erfolgreich durchgeführter Manöver und die durchschnittliche Anzahl an Stürzen.	39
Tabelle 4.7:	Verteilung der Standardabweichung der lateralen Position für den doppelten U-Turn.	39
Tabelle 4.8:	Item Aufwand an Aufmerksamkeit aus dem RALI Fragebogen.....	40
Tabelle 4.9:	Item Aufwand zur Situationsbewältigung aus dem RALI Fragebogen.	40
Tabelle 4.10:	Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.	40
Tabelle 4.11:	Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.	41
Tabelle 4.12:	Anzahl erfolgreich durchgeführter Manöver und die durchschnittliche Anzahl an Stürzen.	41
Tabelle 4.13:	Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen.	42
Tabelle 4.14:	Ergebnis der Alternativhypothese für die Reiz-Reaktionsfahrt.....	43
Tabelle 4.15:	Ergebnis der Alternativhypothese für die Leistungsmessfahrt unter Einbezug der Manöver.	44
Tabelle 4.16:	Ergebnis der Hypothesen für die mentale Beanspruchung und der Fahrerzustand.	46
Tabelle 4.17:	Fragestellung und abgeleitete Hypothesen zu mentalen Ressourcen, Leistungsmaßen und dem Lenkgefühl.....	51
Tabelle 4.18:	Kategorisierung der Nebenaufgaben nach der multidimensionalen Signalverarbeitung und Anwendbarkeit.	57
Tabelle 4.19:	Die Abfolgen bestehen aus $n =$ Anzahl der wiederzugebenden Zahlen $l =$ Länge der Zahlenfolge.....	57
Tabelle 4.20:	Verteilung der Fahrerfahrung über die Anzahl der Probanden.	58
Tabelle 4.21:	G-Power Tabelle	58
Tabelle 4.22:	Mentale Beanspruchung mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.	59
Tabelle 4.23:	Beantwortung der Hypothese.....	60

Tabelle 4.24:	Mittelwert des Lenkmomentes, mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.....	60
Tabelle 4.25:	Beantwortung der Hypothese.....	61
Tabelle 4.26:	Mittelwert der Rollraten, mit und ohne Nebenaufgabe sowie mit und ohne einer Rückmeldung des Lenkwinkels.	61
Tabelle 4.27:	Beantwortung der Hypothese.....	62
Tabelle 4.28:	Verteilung der Antworten zum Lenkgefühl.	62
Tabelle 4.29:	Beantwortung der Hypothese.....	64
Tabelle 4.30:	Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen.	65
Tabelle 4.31:	Freiheitsgrade der dynamischen Plattform für die translatorische, rezipitatorische Bewegung mit der maximalen Geschwindigkeit und Beschleunigung. .	75
Tabelle 4.32:	Hypothesen zur Beantwortung der Forschungsfrage in Studie 3.	76
Tabelle 4.33:	G-Power Tabelle.....	80
Tabelle 4.34:	Standardabweichung der lateralen Position für den Spurwechsel mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.	80
Tabelle 4.35:	Auswertung für das Fahrmanöver Spurwechsel.	81
Tabelle 4.36:	Beantwortung der Hypothese.....	81
Tabelle 4.37:	Standardabweichung der lateralen Position für den U-Turn mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.....	82
Tabelle 4.38:	Auswertung für das Fahrmanöver U-Turn.	83
Tabelle 4.39:	LANEX in Prozent für den U-Turn mit den Konzepten statische und dynamische Plattform in der Verwendung einer isometrischen Lenkung.	83
Tabelle 4.40:	Beantwortung der Hypothese.....	83
Tabelle 4.41:	Wahrnehmung der visuellen Rollbewegung.	85
Tabelle 4.42:	Vestibuläre Wahrnehmung der Rollbewegung.....	85
Tabelle 4.43:	Vestibuläre Wahrnehmung der Rollbewegung.....	86
Tabelle 4.44:	Item Aufwand an Aufmerksamkeit aus dem RALI Fragebogen.....	87
Tabelle 4.45:	Item Aufwand zur Situationsbewältigung aus dem RALI Fragebogen.....	87
Tabelle 4.46:	Item situationsbedingter Stress aus dem RALI Fragebogen.	87
Tabelle 4.47:	Item Anteil an negativen Emotionen aus dem RALI Fragebogen.	87
Tabelle 4.48:	Beantwortung der Hypothese	88
Tabelle 4.49:	Beantwortung der Hypothese	88
Tabelle 4.50:	Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen, für die statische Plattform.	89
Tabelle 4.51:	Darstellung der Häufigkeitsverteilung für die Symptomausprägungen, für die dynamische Plattform.....	89

Literaturverzeichnis

- [1] D. L. Fisher et al., „Handbook of driving simulation for engineering, medicine and psychology: an overview,“ *Handbook of driving simulation for engineering, medicine, and psychology*, 2011.
- [2] J. D. Campbell, „The HSRI part-task driving simulator for research in vehicle rear lighting and related studies,“ 1972.
- [3] D. Windemuth et al., „Die Wirkung von Head-UP-Displays auf das Fahrverhalten eine Studie am Fahrsimulator,“ *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, Bd. 53, Rn. 4, 2007.
- [4] J.-O. Pitz, *Vorausschauender Motion-Cueing-Algorithmus für den Stuttgarter Fahrsimulator*, Springer, 2017.
- [5] B. Hartfiel et al., „Fahrsimulator mit VR-Brille zur Evaluierung neuer Interieurkonzepte,“ *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift*, Bd. 121, Rn. 11, S. 16–25, 2019.
- [6] J. T. Reason und J. J. Brand, *Motion sickness.*, Academic press, 1975.
- [7] B. Keshavarz und J. F. Golding, „Motion sickness: current concepts and management,“ *Current opinion in neurology*, Bd. 35, Rn. 1, S. 107–112, 2022.
- [8] A. Neukum und H. Grattenthaler, „Kinetose in der Fahrsimulation (Projekt: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei, Abschlussbericht–Teil II),“ 2006.
- [9] M. Tholund. „BMW Group builds new Driving Simulation Centre in Munich.“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0284380EN/bmw-group-builds-new-driving-simulation-centre-in-munich?language=en> [aufgerufen am 04.06.2023].
- [10] M. Wiedemann, *Validierung der Fahrsimulation für das Erleben und Beurteilen fahrdynamischer Eigenschaften*. Bd. 113, Cuvillier Verlag, 2016.
- [11] N. Milicic, „Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug,“ Diss., Technische Universität München, 2010.
- [12] P. Pfeffer und M. Harrer. „*Lenkungshandbuch: Lenksysteme, Lenkgefühl, Fahrdynamik von Kraftfahrzeugen. 2., überarb. u. erg.*“, 2013.
- [13] J. Hartig, A. Frey und N. Jude, „Validität,“ *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*, S. 143–171, 2012.
- [14] K. Bengler et al., „Messmethoden,“ in *Automobilergonomie* Springer, 2015, S. 617–662.
- [15] S. Benedetto et al., „A comparison of immersive and interactive motorcycle simulator configurations,“ *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Bd. 23, S. 88–100, 2014.
- [16] S. Will, R. Pleß und S. Guth, „Bringing single track vehicle dynamics to motorcycle riding simulators—results of a pilot study,“ *Proceedings, Bicycle and Motorcycle Dynamics 2016*, 2016.

- [17] M. Grottoli, „Development and evaluation of a motorcycle riding simulator for low speed maneuvering,“ 2021.
- [18] R. Pless et al., „Manöverumsetzung auf einem dynamischen Motorrad Fahrsimulator-Lenken, Lehnen und Kopplungseffekte in der virtuellen Umgebung,“ *Forschungshefte Zweiradsicherheit*, Rn. 17, 2016.
- [19] S. Guth et al., „Motion cueing algorithm to reproduce motorcycle specific lateral dynamics on riding simulators,“ *Proceedings of DSC 2015 Europe*, 2015.
- [20] V. Cossalter et al., „Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator,“ *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Bd. 225, Rn. 6, S. 705–720, 2011.
- [21] A. Popov, S. Rowell und J. P. Meijaard, „A review on motorcycle and rider modelling for steering control,“ *Vehicle system dynamics*, Bd. 48, Rn. 6, S. 775–792, 2010.
- [22] J. Kooijman und A. L. Schwab, „A review on bicycle and motorcycle rider control with a perspective on handling qualities,“ *Vehicle system dynamics*, Bd. 51, Rn. 11, S. 1722–1764, 2013.
- [23] A. L. Schwab und J. P. Meijaard, „A review on bicycle dynamics and rider control,“ *Vehicle system dynamics*, Bd. 51, Rn. 7, S. 1059–1090, 2013.
- [24] R. Lobjois und F. Mars, „Effects of motorcycle simulator configurations on steering control and gaze behavior in bends.“ *Journal of experimental psychology: applied*, Bd. 26, Rn. 1, S. 108, 2020.
- [25] M. Hamm und J. Lichtenthäler, „BMW Motorrad Rider Assistance Systems,“ in *12th International Munich Chassis Symposium 2021: chassis. tech plus*, 2022, S. 744–758.
- [26] Y. M. Co. „Yamaha Motor Develops EPS Steering Support System for Motorcycles,“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://global.yamaha-motor.com/news/2022/0324/corporate2.html> [aufgerufen am 04.06.2023].
- [27] S. Espié et al., „Data collection and processing tools for naturalistic study of powered two-wheelers users' behaviours,“ *Accident Analysis & Prevention*, Bd. 58, S. 330–339, 2013.
- [28] G. Knappe, A. Keinath und C. Meinecke, „Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegröße im Kontext der Fahrsimulation,“ *MMi-interaktiv*, Bd. 11, S. 3–13, 2006.
- [29] N. Miličić, „Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up-Displays im Fahrzeug,“ Diss., München, Techn. Univ., Diss., 2010, 2010.
- [30] A. Werle und F. Diermeyer, „An Approach for Steering Advancement in Motorcycle Riding Simulation,“ in *AHFE International*, 2022, S. 13, DOI: 10.54941/ahfe100846.
- [31] B. Abendroth und R. Bruder, „Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung,“ in *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* Springer, 2009, S. 4–14.
- [32] C. Becker-Carus und M. Wendt, „Handlungssteuerung,“ in *Allgemeine Psychologie* Springer, 2017, S. 263–289.
- [33] J. Rasmussen, „Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models,“ *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, Rn. 3, S. 257–266, 1983.
- [34] H. Schröder. „Lernen–Lehren–Unterricht. Hand-und Lehrbücher der Pädagogik,“ 2002.

- [35] D. ISO. „DIN EN ISO 10075-1. Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung, Teil 1: Allgemeines und Begriffe,“ 2000.
- [36] F. T. Eggemeier et al., „Workload assessment in multi-task environments,“ in *Multiple-task performance* CRC Press, 2020, S. 207–216.
- [37] D. De Waard und K. Brookhuis, „The measurement of drivers' mental workload,“ 1996.
- [38] R. M. Yerkes, J. D. Dodson et al., „The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation,“ 1908.
- [39] B. Buschardt, *Synthetische Lenkmomente*, VDI-Verlag, 2003.
- [40] R. A. Wynne, V. Beanland und P. M. Salmon, „Systematic review of driving simulator validation studies,“ *Safety science*, Bd. 117, S. 138–151, 2019.
- [41] H.-P. Schöner und B. Morys, „Dynamische Fahrsimulatoren,“ *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*, S. 139–154, 2015.
- [42] H.-J. Negele, „Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung,“ Diss., Technische Universität München, 2007.
- [43] N. Gebhardt, „Zweiradfahrzeuge,“ in *Fluidtechnik in Kraftfahrzeugen* Springer, 2010, S. 257–266.
- [44] M. Mitschke und M. Mitschke, „Fahrer—Kraftfahrzeug—Straße, Bewertungskriterien,“ *Dynamik der Kraftfahrzeuge: Band C: Fahrverhalten*, S. 112–134, 1990.
- [45] Schnarek, „Behavioral classification of motorcyclists when backing up.“ *Journal of Easter Eggs*, Bd. 12, Rn. 1, S. 108, 2021.
- [46] E. Donges, „Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen,“ *Automob-Ind*, Bd. 27, Rn. 2, 1982.
- [47] P. M. Fitts und M. I. Posner, „Human performance.“ 1967.
- [48] P. Binder, „Wie funktioniert unser Gedächtnis?,“ in *Kopftraining* Springer, 2016, S. 30–41.
- [49] J. S. Galant, „Reflex, Automatismus, Instinkt,“ *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde*, Bd. 87, Rn. 4, S. 245–262, 1925.
- [50] M. Wimmer, *Entwicklung und Erprobung von Mensch-Maschine-Systemen zur automatisierten Fahrzeugführung*. Bd. 95, Cuvillier Verlag, 2014.
- [51] J. Rasmussen, „Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations,“ *Journal of occupational accidents*, Bd. 4, Rn. 2-4, S. 311–333, 1982.
- [52] A. Oehme et al., „Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung,“ 2014.
- [53] H. Winner, S. Hakuli und G. Wolf, *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort: mit 550 Abbildungen und 45 Tabellen*, Springer-Verlag, 2009.
- [54] T. Lindberg, „Entwicklung einer ABK-Metapher für gruppierte Fahrerassistenzsysteme,“ Diss., Berlin, Technische Universität Berlin, Diss., 2011, 2012.
- [55] E. Donges, „Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug,“ *Z VERKEHRSSICHERHEIT*, Bd. 24, Rn. 3, 1978.
- [56] H. Wolf, „Ergonomische Untersuchung des Lenkgefühls an Personenkraftwagen,“ Diss., Technische Universität München, 2009.

- [57] J. Reason et al., „Errors and violations on the roads: a real distinction?“, *Ergonomics*, Bd. 33, Rn. 10-11, S. 1315–1332, 1990.
- [58] G. Hofinger, *Fehler und Unfälle*, Springer, 2008.
- [59] N. Magiera, „Identifikation des Fahrfertigkeitsniveaus von Motorradfahrern in Kurvenfahrt im Realverkehr“, 2020.
- [60] S. G. Hart, „NASA task load index (TLX)“, 1986.
- [61] I. D. Group. „NASA-TLX (Kurzfassung deutsch)“, 2023. [Online]. Verfügbar: <http://interaction-design-group.de/toolbox/wp-content/uploads/2016/05/NASA-TLX.pdf> [aufgerufen am 19.02.2023].
- [62] A. Pauzié und C. Gelau, „Methodology for safety and usability assessment of ITS for riders“, in *Proceedings of the European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, 2010, S. 457–465.
- [63] M. Unterreiner, *Modellbildung und simulation von fahrzeugmodellen unterschiedlicher komplexität*, Lehrstuhl für Mechatronik, Universität Duisburg-Essen, 2014.
- [64] R. S. Kennedy et al., „Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness“, *The international journal of aviation psychology*, Bd. 3, Rn. 3, S. 203–220, 1993.
- [65] C. D. Wickens, „Attention to attention and its applications: A concluding view“, *Attention: From theory to practice*, S. 239–249, 2007.
- [66] C. D. Wickens, „Multiple resources and mental workload“, *Human factors*, Bd. 50, Rn. 3, S. 449–455, 2008.
- [67] R. S. Owen, „Clarifying the simple assumption of the secondary task technique“, *ACR North American Advances*, 1991.
- [68] C. D. Wickens, „Multiple resources and performance prediction“, *Theoretical issues in ergonomics science*, Bd. 3, Rn. 2, S. 159–177, 2002.
- [69] H. Arioui et al., „Mechatronics, design, and modeling of a motorcycle riding simulator“, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Bd. 15, Rn. 5, S. 805–818, 2010.
- [70] Yamasaki, „Development of motorcycle training simulator“, *JSAE review*, Bd. 19, Rn. 1, S. 81–85, 1998.
- [71] A. Werle und F. Diermeyer, „An Investigation of Smart Glasses for Motorcyclists as a Head-Up-Display Device-Performed on a Riding Simulator“, in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2021, S. 226–237.
- [72] T. Koch, *Untersuchungen zum Lenkgefühl von steer-by-wire Lenksystemen*. Bd. 39, Cuvillier Verlag, 2010.
- [73] A. Penka, *Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen*, Herbert Utz Verlag, 2002.
- [74] P.-s. Huang, „Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften“, Diss., Technische Universität München, 2004.
- [75] P.-S. Huang und A. Pruckner, „Steer by wire“, *Steering handbook*, S. 513–526, 2017.
- [76] M. Hessinger, „Mensch-Exoskelett-Kollaboration auf Basis Strukturintegrierter Sensoren“,
- [77] V. Cossalter, R. Lot und M. Massaro, „Motorcycle dynamics“, *Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles*, S. 1–42, 2014.

- [78] F. für Straßen. „*und Verkehrswesen: Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)*“, 2008.
- [79] R. Pleß et al., „Approach to a holistic rider input determination for a dynamic motorcycle riding simulator,“ in *Proceedings of the Bicycle and Motorcycle Dynamics Conference, Milwaukee, WI, USA*, 2016, S. 21–23.
- [80] S. Guth, „Absicherungsmethode von Anzeigekonzepten zur Darstellung fahrfremder Informationen mittels eines Motorrad-Fahrsimulators,“ Diss., Technische Universität Darmstadt, 2017.
- [81] B. Westerhof, „Evaluation of the Cruden Motorcycle Simulator,“ 2018.
- [82] S. Will, „Development of a presence model for driving simulators based on speed perception in a motorcycle riding simulator,“ Diss., Universität Würzburg, 2017.
- [83] P. Michel et al., „Rider in the Loop Dynamic Motorcycle Simulator: An Instrumentation Strategy Focused on Human Acceptability,“ *Electronics*, Bd. 11, Rn. 17, S. 2690, 2022.
- [84] A. Newberry, M. Griffin und M. Dowson, „Driver perception of steering feel,“ *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Bd. 221, Rn. 4, S. 405–415, 2007.
- [85] C. J. Nash, D. J. Cole und R. S. Bigler, „A review of human sensory dynamics for application to models of driver steering and speed control,“ *Biological cybernetics*, Bd. 110, Rn. 2, S. 91–116, 2016.
- [86] M. Baarspul, „Flight Simulation Techniques with emphasis on the generation of high fidelity 6 DOF motion cues,“ *Delft University of Technology, Department of Aerospace Engineering, memorandum m-553*, 1986.
- [87] E. Crundall, D. Crundall und A. W. Stedmon, „Negotiating left-hand and right-hand bends: A motorcycle simulator study to investigate experiential and behaviour differences across rider groups,“ *PLoS One*, Bd. 7, Rn. 1, e29978, 2012.
- [88] G. Yamasaki et al., „Development of Motorcycle Training Simulator,“ *JSAE Review*, Bd. 2, Rn. 18, S. 201, 1997.
- [89] A. Kemeny und F. Panerai, „Evaluating perception in driving simulation experiments,“ *Trends in cognitive sciences*, Bd. 7, Rn. 1, S. 31–37, 2003.
- [90] L. M. Lorenz, „Entwicklung und Bewertung aufmerksamkeitslenkender Warn- und Informationskonzepte für Fahrerassistenzsysteme,“ Diss., Technische Universität München, 2014.
- [91] M. Maurer et al., *Autonomes Fahren: technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*, Springer Nature, 2015.
- [92] K. J. Astrom, R. E. Klein und A. Lennartsson, „Bicycle dynamics and control: adapted bicycles for education and research,“ *IEEE Control Systems Magazine*, Bd. 25, Rn. 4, S. 26–47, 2005.
- [93] A. Z. Krahnstöver, *Licht führt!?*, Springer, 2017.
- [94] M. Mitschke et al., „Regelkreis Fahrer-Kraftfahrzeug,“ *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, S. 642–675, 2004.
- [95] R. Rassl, „Ablenkungswirkung tertiärer Aufgaben im Pkw: systemergonomische Analyse und Prognose,“ Diss., München, Techn. Univ., Diss., 2004, 2004.

- [96] J. P. Feiler, „Modifizierung der maschinellen Wahrnehmung mittels Teleassistenz,“ Diss., Technische Universität München, 2023.
- [97] W. Brems, „Querdynamikbewertung im Fahrsimulator,“ in *Querdynamische Eigenschaftsbewertung in einem Fahrsimulator* Springer, 2018, S. 27–49.
- [98] M. Semrau, „Grundlagen und Stand der Technik,“ in *Untersuchung zur Modellierung von chinesischem Fahrverhalten auf Autobahnen für den Test pilotierter Fahrfunktionen* Springer, 2018, S. 7–29.
- [99] J. Kelsch et al., „Balancierte Gestaltung kooperativer multimodaler Bedienkonzepte für Fahrerassistenz und Automation: H-Mode beim Annähern, Notbremsen, Ausweichen,“ 2009.
- [100] N. T. Richardson, „Konzeption und Langzeittest der Mensch-Maschine-Schnittstelle für das hochautomatisierte Fahren im Lkw,“ Diss., Technische Universität München, 2020.
- [101] M. H. Strobl, „Spider-das innovative software-framework der bmw fahrsimulation/spider-the innovative software framework of the bmw driving simulation,“ *VDI-Berichte*, Rn. 1745, 2003.
- [102] S. T. Godley, T. J. Triggs und B. N. Fildes, „Driving simulator validation for speed research,“ *Accident analysis & prevention*, Bd. 34, Rn. 5, S. 589–600, 2002.
- [103] I. Siegler et al., „Sensorimotor integration in a driving simulator: contributions of motion cueing in elementary driving tasks,“ *DSC Europe*, 2001.
- [104] R. Rossi, M. Gastaldi und G. Gecchele, „Analysis of driver task-related fatigue using driving simulator experiments,“ *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Bd. 20, S. 666–675, 2011.
- [105] G. Knappe, A. Keinath und C. Meinecke, „Die Sensitivität verschiedener Maße zur Fahrzeugquerregelung im Vergleich,“ in *Fortschritte der Verkehrspsychologie* Springer, 2008, S. 237–256.
- [106] G. Hofinger, „Fehler und Unfälle,“ in *Human Factors* Springer, 2012, S. 39–60.
- [107] S. G. Hart und L. E. Staveland, „Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research,“ in *Advances in psychology*. Bd. 52 Elsevier, 1988, S. 139–183.
- [108] P. Bimberg, T. Weissker und A. Kulik, „On the usage of the simulator sickness questionnaire for virtual reality research,“ in *2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces abstracts and workshops (VRW)*, 2020, S. 464–467.
- [109] M. Nugent et al., „Evaluating rider steering responses to an unexpected collision hazard using a motorcycle riding simulator,“ *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Bd. 66, S. 292–309, 2019.
- [110] H. PREM und M. GOOD, „A rider-lean steering mechanism for motorcycle control,“ *Vehicle System Dynamics*, Bd. 12, Rn. 1-3, S. 29–32, 1983.
- [111] J. Nielsen. „How Many Test Users in a Usability Study?,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.nngroup.com/articles/how-many-test-users/> [aufgerufen am 29.09.2022].
- [112] A. Knapp et al., „Code of practice for the design and evaluation of ADAS,“ *Preventive and Active Safety Applications, eSafety for road and air transport, European Commission Project, Brüssel*, 2009.
- [113] H. Kang, „Sample size determination and power analysis using the G* Power software,“ *Journal of educational evaluation for health professions*, Bd. 18, 2021.

- [114] F. Vinckenbosch et al., „Determining the Statistical Significance of Change in Road Tracking Performance of Individual Drivers in Repeated Measures Designs,“ *Available at SSRN 4072711*.
- [115] E. Dönges und K. Naab, „Regelsysteme zur Fahrzeugführung und-stabilisierung in der Automobiltechnik,“ *at-Automatisierungstechnik*, Bd. 44, Rn. 5, S. 226–237, 1996.
- [116] C. Segieth et al., „Poweranalyse und optimaler Stichprobenumfang–Eine Einführung,“ *Deutsche Zeitschrift für Akupunktur*, Bd. 47, Rn. 1, S. 50–51, 2004.
- [117] N. Döring und J. Bortz, „Bestimmung von Teststärke, Effektgröße und optimalem Stichprobenumfang,“ in *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial-und Humanwissenschaften* Springer, 2016, S. 807–866.
- [118] A. C. Europa. „Anteil der weiblichen Motorradfahrer in Deutschland in den Jahren 2010 und 2011,“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/220133/umfrage/anteil-der-weiblichen-motorradfahrer-in-deutschland/> [aufgerufen am 15.07.2023].
- [119] K. und Verivox. „Motorrad-Studie: Easy Rider sind über 50,“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://www.verivox.de/presse/motorrad-studie-easy-rider-sind-ueber-50-1116285/> [aufgerufen am 15.07.2023].
- [120] C. Weiß, „Tests zum Vergleich von Häufigkeiten,“ in *Basiswissen Medizinische Statistik* Springer, 2010, S. 217–238.
- [121] A. Regorz. „Mann-Whitney U-Test (und Wilcoxon Rangsummentest),“ 2023. [Online]. Verfügbar: http://www.regorz-statistik.de/inhalte/tutorial_wilcoxon_mann_whitney_u_test.html [aufgerufen am 24.06.2023].
- [122] H. Wolf, R. M. Zöllner und H. Bubb, „Ergonomischer Lösungsansatz für die gleichzeitige Rückmeldung mehrerer Fahrerassistenzsysteme an den Fahrer,“ in *2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*, 2006.
- [123] J. Bortz und C. Schuster, *Statistik für Human-und Sozialwissenschaftler: Limitierte Sonderausgabe*, Springer-Verlag, 2011.
- [124] M. Janczyk und R. Pfister, *Inferenzstatistik verstehen*, Springer, 2013.
- [125] M.-A. B. F. E. Heiß, „Fragebogenbasierte Studie zu Kinetose (Bewegungskrankheit) während des Autofahrens,“ Diss., 2021.
- [126] N. Döring. „Forschungsethik,“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://dorsch.hogrefe.com/stichwort/forschungsethik> [aufgerufen am 11.06.2023].
- [127] D. Zühlke, *Useware-Engineering für technische Systeme*, Springer-Verlag, 2006.
- [128] H. Bubb, „Ergonomie und Design,“ in *Automobildesign und Technik* Springer, 2007, S. 240–263.
- [129] W. Jiang et al., „A new mathematical model for car drivers with spatial preview,“ *IFAC Proceedings Volumes*, Bd. 44, Rn. 1, S. 1139–1144, 2011.
- [130] J. R. Nitsch und D. Hackfort, „Theoretical framework of performance psychology: An action theory perspective,“ in *Performance psychology* Elsevier, 2016, S. 11–29.
- [131] B. Heißing und H. J. Brandl, *Subjektive Beurteilung des Fahrverhaltens*, 2002.
- [132] V. Cossalter und J. Sadauckas, „Elaboration and quantitative assessment of manoeuvrability for motorcycle lane change,“ *Vehicle System Dynamics*, Bd. 44, Rn. 12, S. 903–920, 2006.

- [133] G. T. Fechner, „Ueber die psychischen Massprincipien und das Weber'sche Gesetz,“ *Philosophische Studien*, Bd. 4, S. 161–230, 1887.
- [134] W. Bergman, „Measurement and subjective evaluation of vehicle handling,“ SAE Technical Paper, 1973.
- [135] A. Horn und P. Voelsen, „Kurshaltungskennwerte und Fahrerempfinden,“ *BERICHT-INSTITUT FUER FAHRZEUGTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITAET BRAUNSCHWEIG*, 1980.
- [136] A. Kullack, I. Ehrenpfordt und F. Eggert, „ReflektAS-Ein verhaltensbasiertes Assistenzsystem zur Querführung,“ *8. Berliner Werkstatt-Mensch-Maschine-Systeme, der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme*, S. 208–213, 2009.
- [137] T. Baumgarten et al., „Verfahren zum Erzeugen und Auslösen einer Pausenempfehlung,“ Patent DE102011122414A1, 2012.
- [138] N. Magiera et al., „Ein Ansatz zur Schaetzung der Fahrfertigkeiten. Ueberblick ueber Methoden und Ergebnisse,“ *Forschungshefte Zweiradsicherheit*, Rn. 17, 2016.
- [139] S. G. Hart, „NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later,“ in *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, 2006, S. 904–908.
- [140] A. Riedel und R. Gnadler, „Subjektive und objektive Fahrverhaltensbeurteilung von Pkw,“ *AUTOMOBILTECHNISCHE ZEITSCHRIFT. SONderHEFT 25 JAHRE FAT*, Bd. 98, Rn. SONderHEFT, 1996.
- [141] G. A. Lienert und U. Raatz, *Testaufbau und testanalyse*, 1998.
- [142] W. D. Käßler, *Smart vehicle handling-Test und Evaluation in der Fahrzeugtechnik*, Springer-Verlag, 2015.
- [143] K. Deppermann, „GERADEAUSLAUF VON PKW-FAHRVERSUCHE UND BERECHNUNGEN,“ *Automobil-Industrie*, Bd. 34, Rn. 3, 1989.
- [144] H. P. Willumeit, „Konzept einer Untersuchung zur Bewertung des fahrdynamischen Verhaltens von Fahrzeugen - Subjektiv-Obejktivbewertung,“ 199?
- [145] H. Willumeit, *Seitenwindempfindlichkeit Korrelation von Fahrerurteilen bei Fahrversuchen und Simulatortest*, Ingenieurbüro Fahrzeugtechnik, 1998.
- [146] A. Gooding et al., „Demographically-adjusted norms for the paced auditory serial addition test and letter number sequencing test in Spanish-speaking adults: Results from the neuropsychological norms for the US-Mexico border region in Spanish (NP-NUMBRs) Project,“ *The Clinical Neuropsychologist*, Bd. 35, Rn. 2, S. 324–338, 2021.
- [147] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, Routledge, 2013.
- [148] B. Thompson, „Effect sizes, confidence intervals, and confidence intervals for effect sizes,“ *Psychology in the Schools*, Bd. 44, Rn. 5, S. 423–432, 2007.
- [149] E. R. Hoffmann und P. N. Joubert, „Just noticeable differences in some vehicle handling variables,“ *Human Factors*, Bd. 10, Rn. 3, S. 263–272, 1968.
- [150] M. Ajovalasit und J. Giacomini, „Effect of automobile operating condition on the subjective equivalence of steering wheel vibration and sound,“ 2007.
- [151] A. Field, *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, sage, 2013.
- [152] S. Ribback, „Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen,“ Diss., Universität Potsdam, 2003.
- [153] J. L. Plass, R. Moreno und R. Brünken, „Cognitive load theory,“ 2010.

- [154] E. Mehrjerdian, „Potenziale einer Lenkmomentenempfehlung unter fahrdynamischen Gesichtspunkten,“ Diss., Dissertation, Dortmund, Technische Universität, 2015, 2015.
- [155] A. Singer, *Analyse des Einflusses elektrisch unterstützter Lenksysteme auf das Fahrverhalten im On-Center Handling Bereich moderner Kraftfahrzeuge*, Springer-Verlag, 2020.
- [156] P. R. Grant, *The development of a tuning paradigm for flight simulator motion drive algorithms.*, University of Toronto, 1996.
- [157] A. Shahar et al., „Towards identifying the roll motion parameters of a motorcycle simulator,“ *Applied ergonomics*, Bd. 45, Rn. 3, S. 734–740, 2014.
- [158] H. Bubb et al., *Automobilergonomie*, Springer-Verlag, 2015.
- [159] A. Werle und F. Diermeyer, „Investigation of the Riding Performance for an Isometric Steering System with Two Platform Concepts,“ in *Human Factors and Systems Interaction*, 2022, DOI: 10.54941/ahfe1002192.
- [160] K. Nagasaka et al., „Development of a Riding Simulator for Motorcycles,“ SAE Technical Paper, 2018.
- [161] A. Frey, „Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich: Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit,“ 2016.
- [162] M. Fischer, „Motion-cueing-algorithmen für eine realitätsnahe bewegungssimulation,“ Diss., DLR Braunschweig, 2009.
- [163] H. Asadi et al., „Human perception-based washout filtering using genetic algorithm,“ in *International Conference on Neural Information Processing*, 2015, S. 401–411.
- [164] J. Östlund et al., „Deliverable 2–HMI and Safety-Related Driver Performance (No. GRD1/2000/25361 S12. 319626),“ *Human Machine Interface and the Safety of Traffic in Europe (HASTE) Project*, 2004.
- [165] J. L. Campbell, C. Carney und B. H. Kantowitz, „Human factors design guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and commercial vehicle operations (CVO),“ United States. Federal Highway Administration, 1998.
- [166] S. Plaettner. „Ausstattung Statischer Fahrsimulator,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://tu-dresden.de/bu/verkehr/iad/kft/die-professur/ausstattung/statischer-fahrsimulator> [aufgerufen am 31. 12. 2022].
- [167] A. Feierle. „Labore Statischer Fahrsimulator,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.mec.ed.tum.de/lfe/forschung/labore/statischer-fahrsimulator/> [aufgerufen am 31. 12. 2022].
- [168] D. Universalwörterbuch, „Duden,“ *Deutsches Universalwörterbuch. Bearbeitet von Günther Drosdowski und der Dudenredaktion*, Bd. 3, 1996.
- [169] D. Schlender, „Simulatorkrankheit in Fahrsimulatoren/Simulator sickness in driving simulators,“ *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, Bd. 54, Rn. 2, 2008.
- [170] A. Parduži, „Bewertung der Validität von Fahrsimulatoren anhand vibro-akustischer Fahrzeugschwingungen,“ 2021.
- [171] G. Baumann et al., „Optimierung des Fahrkomforts beim automatisierten Fahren,“ *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift*, Bd. 122, Rn. 11, S. 74–79, 2020.
- [172] J. Mittelstaedt, J. Wacker und D. Stelling, „Effects of display type and motion control on cybersickness in a virtual bike simulator,“ *Displays*, Bd. 51, S. 43–50, 2018.

- [173] R. Lobjois, I. A. Siegler und F. Mars, „Effects of visual roll on steering control and gaze behavior in a motorcycle simulator,“ *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Bd. 38, S. 55–66, 2016.
- [174] A. Hösch, „Simulator Sickness in Fahrsimulationsumgebungen-drei Studien zu Human Factors,“ Diss., Technische Universität Ilmenau, 2018.
- [175] J. Drexler, R. Kennedy und D. Compton, „Comparison of Sickness Profiles from Simulator and Virtual Environment Devices-Implications of Engineering Features, aus der Reihe"\"DSC Europe,“ *Paris (September 2004)*.
- [176] R. Bertin et al., „Objective measurement of simulator sickness and the role of visual-vestibular conflict situations: a study with vestibular-loss (a-reflexive) subjects,“ 2004.
- [177] L. J. Hettinger und M. W. Haas, *Virtual and adaptive environments: Applications, implications, and human performance issues*, CRC Press, 2003.

Vorveröffentlichungsliste

Während der Anfertigung dieser Dissertation entstanden Veröffentlichungen und Studienarbeiten, in denen Teilaspekte dieser Arbeit vorgestellt wurden.

Zeitschriften; Scopus/Web of Science gelistet (peer-reviewed)

A. Werle und F. Diermeyer, „An Investigation of Smart Glasses for Motorcyclists as a Head-Up-Display Device-Performed on a Riding Simulator,“ *Advances in Human Aspects of Transportation*, S. 226–237, 2021.

Zeitschriften, Konferenzen, Magazine, Berichte, Konferenzvorträge und -poster, etc.; nicht Scopus/Web of Science gelistet

A. Werle und F. Diermeyer, „An Approach for Steering Advancement in Motorcycle Riding Simulation,“ in *AHFE International*, 2022.

A. Werle und F. Diermeyer, „Investigation of the Riding Performance for an Isometric Steering System with Two Platform Concepts,“ in *Human Factors and Systems Interaction*, 2022.

N. Merkel et al., „Safety Potential Of Data Glasses For Motorcyclists,“ *14th International Motorcycle Conference (ifz)*, 2022.

Nicht-dissertationsrelevante Veröffentlichungen; Scopus/Web of Science gelistet (peer-reviewed)

S. Will et al., „Assessment of data glasses for motorcycle riders in a simulated lane change test,“ *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, Bd. 89, S. 467–477, 2022.

Betreute Studienarbeiten

Folgende studentische Arbeiten entstanden im Rahmen der Dissertation unter der inhaltlichen, fachlichen und wissenschaftlichen Betreuung sowie unter maßgeblicher Anleitung des Autors. Im Folgenden sind die für diese Dissertation relevanten und in Bezug stehenden Bachelor-, Semester- und Masterarbeiten aufgeführt. Vielen Dank geht hier an die Bearbeiter für die umfangreiche Unterstützung im Rahmen dieses Forschungsprojekt.

F. Holzner, „Untersuchung der Bedienkonzepte Lenkwinkel und Lenkmoment auf die Auswirkung der Fahraufgabe,“ Masterarbeit, Technische Universität München, München, 2021.

M. Rambach, „Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Roll-Motion Cueing Konzepte auf die Fahraufgabe,“ Masterarbeit, Technische Universität München, München, 2021.

D. Wildner, „Untersuchung und Vergleich unterschiedlicher Lenksysteme in der Fahrsimulation,“ Bachelorarbeit, Technische Universität München, München, 2022.

P. Kragt, „Aufbau und Bewertung einer Lenkmomentmessung für den Einsatz in einem Motorradfahrersimulator,“ Bachelorarbeit, Technische Universität München, München, 2022.

M. Straubinger, „Konstruktion eines Ergonomie-Mock-Ups für die Motorradfahrersimulation,“ Semesterarbeit, Technische Universität München, München, 2020.

F. Holzner, „Erstellung eines Motorradfahrerdynamikmodells für einen Motorradfahrersimulator,“ Semesterarbeit, Technische Universität München, München, 2021.

Anhang

A	Anhang Herleitung des Hebelarms	xxiii
B	Anhang Studie 1	xxv
C	Anhang Studie 2	lxxix
D	Anhang Studie 3	cxliii

A Anhang Herleitung des Hebelarms

$$F_z = -m \cdot R_g \cdot \Omega^2 \quad (\text{A.1})$$

Der Hebelarm wird zusätzlich eingeführt, weil dieser aus der klassischen Formulierung der Zentrifugalkraft $F_z = m \cdot \omega^2 \cdot r$ nicht hervorgeht.

$$\tau_z = -F_z \cdot \text{Hebelarm} \quad (\text{A.2})$$

Die ursprüngliche Formulierung nach Cossalter, Lot und Massaro [77] ist:

$$\begin{aligned} \tau_z = -\Omega^2 [& m(X_A Y_{Gf} - X_{Gf} Y_A) \cos(\epsilon) \cos(\phi) + \\ & (I_{yzf} - m_f Y_G Z_A) \sin(\epsilon) + \\ & (I_{xzf} - m_f Y_{Gf} Z_A) \cos(\epsilon) \sin(\phi)] \end{aligned} \quad (\text{A.3})$$

Zur Vereinfachung werden die trigonometrischen Funktionen vernachlässigt, weil diese lediglich einen Faktor aus der Fahrzeuggeometrie darstellen.

$$\tau_z = -\Omega^2 [m_f(X_A Y_{Gf} - X_{Gf} Y_A) + (I_{yzf} - m_f Y_G Z_A) + (I_{xzf} - m_f Y_{Gf} Z_A)] \quad (\text{A.4})$$

Ausklammern von m_f , um anschließend eine Einheitenbetrachtung durchzuführen.

$$\begin{aligned} \tau_z = -\Omega^2 \cdot m_f [& (X_A Y_{Gf} - X_{Gf} Y_A) + \\ & (\frac{I_{yzf}}{m_f} - Y_{Gf} Z_A) + \\ & (\frac{I_{xzf}}{m_f} - Y_{Gf} Z_A)] \end{aligned} \quad (\text{A.5})$$

Anhand der Einheitenbetrachtung ist zu sehen, dass R_g den quadrierten Abstand, damit den Hebelarm, beinhaltet und ein Zentrifugalmoment entsteht, weil der Körper bei einer Lenkinteraktion oder Störung nicht mehr um die Hauptträgheitsachse rotiert.

$$\begin{aligned} [\tau_z] &= -\frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{kg} \cdot [(m^2 - m^2) + \\ &\quad (\frac{\cancel{\text{kg}}\text{m}^2}{\cancel{\text{kg}}} - m^2) + \\ &\quad (\frac{\cancel{\text{kg}}\text{m}^2}{\cancel{\text{kg}}} - m^2)] = \\ &= -\frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} \cdot \text{rad}^2 = \text{Nm} \cdot \text{rad}^2 \end{aligned} \tag{A.6}$$

B Anhang Studie 1

Leitfaden Lenkungsvergleich (Juli 2021)

Intro | Vorbefragung | Eingewöhnungsfahrt | Messfahrt | Zwischenbefragung | Nachbefragung

Version: 2.0

26.07.2021

VP-Nr.: _____
Datum: _____
Uhrzeit: _____
Versuchsleiter: _____
FragebogenID Easy Feedback: _____

Alter:	Größe
--------	-------

Bedingungen Modalitäten

- Lenkwinkel Oberer Geschwindigkeitsbereich (80 km/h)
- Lenkmoment Oberer Geschwindigkeitsbereich (80 km/h)

Szenarien und deren Reihenfolge --> Permutationsplan

- Spurwechsel
- Konstante Kreisfahrt
- Trajektorienfolge

Rotation:

1	LM G1 -->	LM G2 -->	LW G1 -->	LW G2
2	LW G1 -->	LW G2 -->	LM G1 -->	LM G2
3	LM G1 -->	LM G2 -->	LW G2 -->	LW G1
4	LW G1 -->	LW G2 -->	LM G2 -->	LM G1
5	LM G2 -->	LM G1 -->	LW G1 -->	LW G2
6	LW G2 -->	LW G1 -->	LM G1 -->	LM G2
7	LM G2 -->	LM G1 -->	LW G2 -->	LW G1
8	LW G2 -->	LW G1 -->	LM G2 -->	LM G1

1 Übungsfahrt 1

Beginn max. 00:15 | Dauer 10 min

Lenkwinkel 0 | 0 Lenkmoment

1. Übungsfahrt immer mit Instruktionen und MIT Stabilisierung

5 min

Wir beginnen mit der ersten Übungsfahrt, bei der Sie ein Gefühl für das Motorrad entwickeln sollen. Sie befinden sich gleich auf einer freien Strecke und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 70km/h**.

Beschleunigen Sie für ein stabileres Fahrverhalten. Versuchen Sie um nach links zu fahren leicht nach rechts zu lenken. Also immer nach dem Prinzip Gegenlenken. Sie können die Geschwindigkeit verändern und die Fahrstreifen wechseln. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

1. Übungsfahrt OHNE Stabilisierung

5 min

Probieren Sie bitte möglichst geradeaus zu fahren, sowohl bei hohen als auch niedrigen Geschwindigkeiten.

Probieren Sie kontrollierte Spurwechsel in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen durchzuführen.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

Ende 1. Übungsfahrt

Ok, nachdem Sie das Motorrad kennengelernt haben, stoppe ich die Simulation und bereite die Messfahrten vor. Sie dürfen gern auf dem Motorrad sitzen bleiben.

Fühlen Sie sich gut?

2 Messreihe 1

Beginn max. 00:25 | Dauer 15 min

Rotation O 1 | O 2 | O 3 | O 4 | O 5 | O 6 | O 7 | O 8

Lenkwinkel O | O Lenkmoment

Geschwindigkeit hoch O | O niedrige Geschwindigkeit

1. Messfahrt – Spurwechsel**3 min**

Beim ersten Versuch sollen Sie das Szenario Spurwechsel kennenlernen. Erst danach beginnt die eigentliche Messfahrt.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Bleiben Sie zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**. Der erste Spurwechsel wird durch eine Pylonengasse angedeutet und wird von der rechten auf die linke Spur durchgeführt.

Ziel wäre wieder die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen. Auf den jeweiligen Fahrstreifen befinden sich **rot-weiße Markierungen, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Konstante Kreisfahrt**3 min**

Als nächstes sollen Sie die konstante Kreisfahrt kennenlernen.

Sie starten in einer Pylonengasse und fahren auf die Kreisbahn zu. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** wird durch das Fahrzeug beibehalten. In der Kreisbahn versuchen Sie bitte möglichst **mittig zwischen der Pylonengasse** entlang zu fahren, ohne diese zu berühren. **Insgesamt wird der Kreis dreimal umfahren.**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung innen:

- keine Berührung Innenkreis
- einmalige Berührung Innenkreis
- mehrmalige Berührung Innenkreis
- Kreisbahn einmal überfahren
- Kreisbahn mehrmals überfahren

Beobachtungen Querführung außen:

- kein Verlassen der Kreisbahn
- einmaliges Verlassen der Kreisbahn
- mehrmaliges Verlassen der Kreisbahn

- konstante Schräglage mit minimalen Lenkkorrekturen
- häufige Korrekturen nötig, unruhiges Fahren

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

3. Messfahrt – Rundkurs

3 min

Als nächstes Fahren Sie die gleiche Strecke wie bei der Eingewöhnungsfahrt. Aus diesem Grund gibt es auch keine Übungsfahrt.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Versuchen Sie während des gesamten Szenarios möglichst **mittig innerhalb des rechten Fahrstreifens** zu bleiben. **Falls Sie den Fahrstreifen verlassen versuchen Sie wieder in die Mitte des rechten Fahrstreifens zurückzukehren.** Am Ende der Fahrt befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren. Die Fahrtdauer beträgt **ca. 1 Minute**.

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- kein Verlassen des Fahrstreifens
- einmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- mehrmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- ständiges Verlassen des Fahrstreifens
- Verlassen der Fahrbahn

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

4. Messfahrt – Trajektorienfolge**3 min**

Im nächsten Szenario sollen Sie die Trajektorienfolge zunächst kennenlernen.

Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie **möglichst mittig durchfahren** sollen. Zu Beginn gibt es wieder eine Übungsfahrt.

Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** wird wieder **selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte **möglichst mittig durchfahren**.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren.

<< Simulation beenden >>

Zwischenbefragung nach der 1. Messreihe**3 min**

Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, ziehen Sie Ihre Handschuhe aus und nehmen Sie sich das Tablet zur Hand. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „1. Zwischenbefragung (LW langsam)“
- „2. Zwischenbefragung (LW schnell)“

- „3. Zwischenbefragung (LM langsam)“
- „4. Zwischenbefragung (LM schnell)“

<< entsprechend aktueller Rotation ansagen >>

Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen und Ihre Handschuhe wieder anziehen. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, ich bereite die nächste Messreihe vor.

3 Messreihe 2

Beginn max. 00:40 | Dauer 15 min

Rotation O 1 | O 2 | O 3 | O 4 | O 5 | O 6 | O 7 | O 8

Lenkwinkel O | O Lenkmoment

Geschwindigkeit hoch O | O niedrige Geschwindigkeit

1. Messfahrt – Spurwechsel**3 min**

Die nächste Messreihe startet wieder mit dem Spurwechsel.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Bleiben Sie zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**. Der erste Spurwechsel wird durch eine Pylonengasse angedeutet und wird von der rechten auf die linke Spur durchgeführt.

Ziel wäre wieder die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen. Auf den jeweiligen Fahrstreifen befinden sich **rot-weiße Markierungen, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Konstante Kreisfahrt**3 min**

Als nächstes folgt die konstante Kreisfahrt.

Sie starten in einer Pylonengasse und fahren auf die Kreisbahn zu. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** wird durch das Fahrzeug beibehalten. In der Kreisbahn versuchen Sie bitte möglichst **mittig zwischen der Pylonengasse** entlang zu fahren, ohne diese zu berühren. **Insgesamt wird der Kreis dreimal umfahren.**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung innen:

- keine Berührung Innenkreis
- einmalige Berührung Innenkreis
- mehrmalige Berührung Innenkreis
- Kreisbahn einmal überfahren
- Kreisbahn mehrmals überfahren

Beobachtungen Querführung außen:

- kein Verlassen der Kreisbahn
- einmaliges Verlassen der Kreisbahn
- mehrmaliges Verlassen der Kreisbahn

- konstante Schräglage mit minimalen Lenkkorrekturen
- häufige Korrekturen nötig, unruhiges Fahren

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

3. Messfahrt – Rundkurs

3 min

Das nächste Szenario ist wieder der Rundkurs.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Versuchen Sie während des gesamten Szenarios möglichst **mittig innerhalb des rechten Fahrstreifens** zu bleiben. **Falls Sie den Fahrstreifen verlassen versuchen Sie wieder in die Mitte des rechten Fahrstreifens zurückzukehren.** Am Ende der Fahrt befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren. Die Fahrtdauer beträgt **ca. 1 Minute**.

Ich starte jetzt die Simulation.

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- kein Verlassen des Fahrstreifens
- einmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- mehrmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- ständiges Verlassen des Fahrstreifens
- Verlassen der Fahrbahn

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< **Simulation beenden** >>

4. Messfahrt – Trajektorienfolge**3 min**

Als nächstes folgt wieder die Trajektorienfolge.

Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie **möglichst mittig durchfahren** sollen. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h wird wieder selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren.

<< Simulation beenden >>

Zwischenbefragung nach der 2. Messreihe**3 min**

Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, ziehen Sie Ihre Handschuhe aus und nehmen Sie sich das Tablet zur Hand. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „1. Zwischenbefragung (LW langsam)“
- „2. Zwischenbefragung (LW schnell)“
- „3. Zwischenbefragung (LM langsam)“
- „4. Zwischenbefragung (LM schnell)“

<< entsprechend aktueller Rotation ansagen >>

Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen und Ihre Handschuhe wieder anziehen. Warten Sie bitte einen kleinen Moment, ich komme zu Ihnen rüber.

<< In Simulator wechseln Lenkung umbauen, >>

<< MOOG anschalten oder ausschalten >>

<< anschließend zum Leitstand zurückkehren >>

Übungsfahrt 2

Beginn max. 01:00 | Dauer 15 min

Lenkwinkel O | O Lenkmoment

2. Übungsfahrt immer mit Instruktionen und MIT Stabilisierung

5 min

Wir beginnen mit der ersten Übungsfahrt, bei der Sie ein Gefühl für das Motorrad entwickeln sollen. Sie befinden sich gleich auf einer freien Strecke und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 70km/h**.

Beschleunigen Sie für ein stabileres Fahrverhalten. Versuchen Sie um nach links zu fahren leicht nach rechts zu lenken. Also immer nach dem Prinzip Gegenlenken. Sie können die Geschwindigkeit verändern und die Fahrstreifen wechseln. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

2. Übungsfahrt OHNE Stabilisierung

5 min

Probieren Sie bitte möglichst geradeaus zu fahren, sowohl bei hohen als auch niedrigen Geschwindigkeiten.
Probieren Sie kontrollierte Spurwechsel in unterschiedlichen Geschwindigkeitsbereichen durchzuführen.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

Ende 2. Übungsfahrt

Ok, nachdem Sie auch die zweite Lenkungsvariante kennengelernt haben, stoppe ich die Simulation und bereite die Messfahrten vor. Sie dürfen gern auf dem Motorrad sitzen.

Fühlen Sie sich gut?

Messreihe 3

Beginn max. 01:15 | Dauer 15 min

Rotation O 1 | O 2 | O 3 | O 4 | O 5 | O 6 | O 7 | O 8

Lenkwinkel O | O Lenkmoment

Geschwindigkeit hoch O | O niedrige Geschwindigkeit

1. Messfahrt – Spurwechsel**3 min**

Die nächste Messreihe startet wieder mit dem Spurwechsel.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Bleiben Sie zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**. Der erste Spurwechsel wird durch eine Pylonengasse angedeutet und wird von der rechten auf die linke Spur durchgeführt.

Ziel wäre wieder die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen. Auf den jeweiligen Fahrstreifen befinden sich **rot-weiße Markierungen, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Konstante Kreisfahrt		3 min
<p>Als nächstes folgt die konstante Kreisfahrt.</p> <p>Sie starten in einer Pylonengasse und fahren auf die Kreisbahn zu. Die Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h wird durch das Fahrzeug beibehalten. In der Kreisbahn versuchen Sie bitte möglichst mittig zwischen der Pylonengasse entlang zu fahren, ohne diese zu berühren. Insgesamt wird der Kreis dreimal umfahren.</p> <p>Ich starte jetzt die Simulation</p> <p><< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >></p> <p>Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)</p> <p><input type="checkbox"/> Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)</p>		
<p>Beobachtungen Querführung innen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> keine Berührung Innenkreis <input type="checkbox"/> einmalige Berührung Innenkreis <input type="checkbox"/> mehrmalige Berührung Innenkreis <input type="checkbox"/> Kreisbahn einmal überfahren <input type="checkbox"/> Kreisbahn mehrmals überfahren 	<p>Beobachtungen Querführung außen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> kein Verlassen der Kreisbahn <input type="checkbox"/> einmaliges Verlassen der Kreisbahn <input type="checkbox"/> mehrmaliges Verlassen der Kreisbahn 	
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> konstante Schräglage mit minimalen Lenkkorrekturen <input type="checkbox"/> häufige Korrekturen nötig, unruhiges Fahren 		
<p>Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.</p> <p><< Simulation beenden >></p>		

3. Messfahrt – Rundkurs

3 min

Das nächste Szenario ist wieder der Rundkurs.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Versuchen Sie während des gesamten Szenarios möglichst **mittig innerhalb des rechten Fahrstreifens** zu bleiben. **Falls Sie den Fahrstreifen verlassen versuchen Sie wieder in die Mitte des rechten Fahrstreifens zurückzukehren.** Am Ende der Fahrt befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren. Die Fahrtdauer beträgt **ca. 1 Minute**.

Ich starte jetzt die Simulation.

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- kein Verlassen des Fahrstreifens
- einmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- mehrmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- ständiges Verlassen des Fahrstreifens
- Verlassen der Fahrbahn

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< **Simulation beenden** >>

4. Messfahrt – Trajektorienfolge

3 min

Als nächstes folgt die Trajektorienfolge.

Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie **möglichst mittig durchfahren** sollen. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h wird wieder selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren.

<< **Simulation beenden** >>

Zwischenbefragung nach der 3. Messreihe

3 min

Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, ziehen Sie Ihre Handschuhe aus und nehmen Sie sich das Tablet zur Hand. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „1. Zwischenbefragung (LW langsam)“
- „2. Zwischenbefragung (LW schnell)“

- „3. Zwischenbefragung (LM langsam)“
- „4. Zwischenbefragung (LM schnell)“

<< **entsprechend aktueller Rotation ansagen** >>

- Teilnehmer*in öffnet Link und füllt die Umfrage zur Zwischenbefragung aus

Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen und Ihre Handschuhe wieder anziehen.

Messreihe 4**Beginn max. 01:30 | Dauer 15 min****Rotation O 1 | O 2 | O 3 | O 4 | O 5 | O 6 | O 7 | O 8****Lenkwinkel O | O Lenkmoment****Geschwindigkeit hoch O | O niedrige Geschwindigkeit****1. Messfahrt – Spurwechsel****3 min**

Die nächste Messreihe startet wieder mit dem Spurwechsel.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Bleiben Sie zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**. Der erste Spurwechsel wird durch eine Pylonengasse angedeutet und wird von der rechten auf die linke Spur durchgeführt.

Ziel wäre wieder die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen. Auf den jeweiligen Fahrstreifen befinden sich **rot-weiße Markierungen, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Konstante Kreisfahrt**3 min**

Als nächstes folgt die konstante Kreisfahrt.

Sie starten in einer Pylonengasse und fahren auf die Kreisbahn zu. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 4 80km/h** wird durch das Fahrzeug beibehalten. In der Kreisbahn versuchen Sie bitte möglichst **mittig zwischen der Pylonengasse** entlang zu fahren, ohne diese zu berühren. **Insgesamt wird der Kreis dreimal umfahren.**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung innen:

- keine Berührung Innenkreis
- einmalige Berührung Innenkreis
- mehrmalige Berührung Innenkreis
- Kreisbahn einmal überfahren
- Kreisbahn mehrmals überfahren

Beobachtungen Querführung außen:

- kein Verlassen der Kreisbahn
- einmaliges Verlassen der Kreisbahn
- mehrmaliges Verlassen der Kreisbahn

- konstante Schräglage mit minimalen Lenkkorrekturen
- häufige Korrekturen nötig, unruhiges Fahren

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

3. Messfahrt – Rundkurs

3 min

Das nächste Szenario ist wieder der Rundkurs.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die Geschwindigkeit nicht selbst regeln. Versuchen Sie während des gesamten Szenarios möglichst **mittig innerhalb des rechten Fahrstreifens** zu bleiben. **Falls Sie den Fahrstreifen verlassen versuchen Sie wieder in die Mitte des rechten Fahrstreifens zurückzukehren.** Am Ende der Fahrt befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren. Die Fahrtdauer beträgt **ca. 1 Minute**.

Ich starte jetzt die Simulation.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- kein Verlassen des Fahrstreifens
- einmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- mehrmaliges, kurzzeitiges Verlassen des Fahrstreifens
- ständiges Verlassen des Fahrstreifens
- Verlassen der Fahrbahn

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Simulation beenden >>

4. Messfahrt – Trajektorienfolge

3 min

Als nächstes folgt die Trajektorienfolge.

Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie **möglichst mittig durchfahren** sollen. Die **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** wird wieder **selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

Ich starte jetzt die Simulation.

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): _____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: _____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen. Ich stoppe die Simulation und Sie können die Weste deaktivieren.

<< **Simulation beenden** >>

Zwischenbefragung nach letzten Messreihe**3 min**

Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, ziehen Sie Ihre Handschuhe aus und nehmen Sie sich das Tablet zur Hand. Als nächstes folgt eine letzte Zwischenbefragung.

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „1. Zwischenbefragung (LW langsam)“
- „2. Zwischenbefragung (LW schnell)“

- „3. Zwischenbefragung (LM langsam)“
- „4. Zwischenbefragung (LM schnell)“

<< entsprechend aktueller Rotation ansagen >>

- o Teilnehmer*in öffnet Link und füllt die Umfrage zur Zwischenbefragung aus

Vielen Dank! Legen Sie bitte das Tablet zurück und warten Sie einen kleinen Augenblick. Ich komme zu Ihnen rüber.

<< In Simulator wechseln und Probanden entkabeln, anschließend zum Platz begleiten, Tablet mitnehmen >>

Nachbefragung am Versuchsende**5 min**

Gut, damit sind Sie am Ende des Versuchs angekommen. Zum Abschluss folgt eine letzte Umfrage, die ich Sie bitten würde auszufüllen.

<< Proband das Tablet geben >>

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon „Nachbefragung“

Füllen Sie die Umfrage bitte aus, bei Fragen stehe ich zur Verfügung.

- o Teilnehmer*in öffnet Link und füllt die Umfrage aus

Vielen Dank! Das wars. Hat es Ihnen gefallen?

<< Abschlussgespräch und Probanden zum Ausgang begleiten >>

Demografischer Fragebogen

Versuchsangaben

* Das Datum, an dem Ihr Versuchsslot stattfindet!

Format: "TT.MM.JJJJ"

* Die Uhrzeit, zu der ihr Versuch beginnt!

Format: "HH:MM"

Allgemein

Alter

Körpergröße

* Geschlecht

- männlich
- weiblich
- divers

* Händigkeit

- Linkshänder
- Rechtshänder
- Beides

Selbsteinschätzung

* Benötigen Sie eine Sehhilfe zum Motorradfahren?

- Ja Nein

* Welche Sehhilfe tragen Sie für den heutigen Versuch?

- Keine
 Brille
 Kontaktlinsen

* Liegt bei Ihnen eine Sehbeeinträchtigung vor?

- Nein
 Kurzsichtig
 Weitsichtig
 Rot-Grün-Schwäche
 Blau-Gelb-Schwäche
 Farbenblindheit
 Sonstige

* Liegt bei Ihnen eine Beeinträchtigung des Hörvermögens vor?

- Nein
 Taubheit rechts (vollständig)
 Taubheit links (vollständig)
 Taubheit rechts (teilweise)
 Taubheit links (teilweise)
 Sonstige

Erfahrungen

* Welche Fahrerlaubnisklasse/n besitzen Sie?

- PKW
- LKW
- Motorrad
- Sonstige

* Seit wie vielen Jahren besitzen Sie die Fahrerlaubnis A, A2, A1(Motorradführerschein)?

- Bis 2 Jahre
- 2 bis 5 Jahre
- bis 10 Jahre
- mehr als 10

Jahre

* Wie viele Kilometer sind Sie bisher insgesamt in Ihrem Leben selbst mit einem Motorrad gefahren?

Bei weniger als 15.000km bitte die Umfrage abbrechen und aus der Studie abmelden. Wir benötigen Motorradfahrer mit einer Fahrerfahrung von mehr als 15.000km.

- Weniger als 15.000 km
- 15.000 km bis 20.000 km
- 20.000 km bis 30.000 km
- 30.000 km bis 50.000 km
- Mehr als 50.000 km

* Wie viele Kilometer fahren Sie in etwa pro Jahr mit dem Motorrad?

- Weniger als 1.000 km/a
- 1.000 km/a bis 2.500 km/a
- 2.500 km/a bis 5.000 km/a
- 5.000 km/a bis 10.000 km/a
- Mehr als 10.000 km/a

* Welchen Motorrad-Typ bevorzugen Sie?

Sportler

Chopper

Enduro

Naked

Tourer

Sonstiges

*** Besitzen Sie ein eigenes Motorrad?**

Ja Nein

Wenn ja, welches(s) Modell(e):

Simulatorerfahrung

*** Sind Sie schon mal mit einem Fahrsimulator gefahren?**

nein ja, statischer PKW-

Simulator ja, dynamischer PKW-

Simulator ja, Motorrad-

Simulator

*** Wurde Ihnen im Simulator unwohl, empfanden Sie Übelkeit?**

nein nur einmal

erlebt häufig

erlebt immer

erlebt

Vorbefragung

Seitentitel ...

Probandennummer

Vorbefragung

* Bewerten Sie bitte Ihr aktuelles Befinden!

	Kein	Leicht	Moderat	Stark
Generelles Unbehagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ermüdung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kopfschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augenschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwierigkeiten bei der Fokussierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erhöhter Speichelfluss	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwitzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Übelkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Konzentrationschwierigkeiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eingeschränkte Aufnahmefähigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verschwommene Sicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei offenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei geschlossenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Orientierungsverlust	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Möchten Sie weitere Angaben bzgl. Ihres Gemütszustands machen?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Zwischenbefragung

Seitentitel ...

Probandennummer

Seite 1

Bitte geben Sie für die 4 nachfolgenden Fragen an, wie hoch die **Beanspruchung** in den einzelnen Dimensionen **während der gesamten Fahrt** war.

* 1. Aufwand an Aufmerksamkeit

Bewertung der benötigten Aufmerksamkeit zur Ausführung der Fahraufgabe.

0 1 2 3 4 5 gering
 hoch

* 2. Situationsbedingter Stress

Bewertung der Belastung während der Fahraktivität (wie Müdigkeit, Unsicherheitsgefühl, Irritation, Entmutigung usw.).

0 1 2 3 4 5
gering hoch

* 3. Aufwand zur Situationsbewältigung

Bewertung der Arbeitsbelastung induziert durch die Komplexität der Umgebung.

0 1 2 3 4 5
gering hoch

* 4. Zunahme an negativen Emotionen durch die Handhabung des Fahrzeugs

Bewertung des Ausmaßes negativer Emotionen im Zusammenhang mit der Kontrolle und Handhabung des Motorrads.

0 1 2 3 4 5 gering
 hoch

Seite 2

Bitte geben Sie nachfolgend an, wie hoch die **Beanspruchung** in der Situationsbewältigung **während des Spurwechsels** war.

* 1. Aufwand zur Situationsbewältigung beim Spurwechsel.

Bewertung der Arbeitsbelastung induziert durch die Komplexität der Umgebung.

0 1 2 3 4 5 gering
 hoch

Bitte geben Sie nachfolgend an, wie hoch die **Beanspruchung** in der Situationsbewältigung **während der Kreisfahrt** war.

* 2. Aufwand zur Situationsbewältigung bei der Kreisfahrt.

Bewertung der Arbeitsbelastung induziert durch die Komplexität der Umgebung.

0 1 2 3 4 5 gering
 hoch

Bitte geben Sie nachfolgend an, wie hoch die **Beanspruchung** in der Situationsbewältigung **während der Trajektorienfolge** war.

* 3. Aufwand zur Situationsbewältigung bei der Trajektorienfolge.

Bewertung der Arbeitsbelastung induziert durch die Komplexität der Umgebung.

0 1 2 3 4 5 gering
 hoch

Seite 3

* 1. Bewerten Sie die nachfolgenden Aussagen.

Die Lenkung des Fahrzeugs erlebte ich beim Durchfahren der Szenarien als:

	1	2	3	4	5	6	7	
ungewohnt	<input type="radio"/>	vertraut kontrolliert						
unkontrolliert	<input type="radio"/>	angenehm						
unangenehm	<input type="radio"/>	realistisch						
unrealistisch	<input type="radio"/>							

* 2. Wie bewerten Sie das Fahrverhalten des Fahrzeugs?

	1	2	3	4	5	6	7	
unrealistisch	<input type="radio"/>	realistisch						

* 3. Konnten Sie der Fahrspur folgen?

	1	2	3	4	5	6	7	
schlecht	<input type="radio"/>	gut						

* 4. Wie zielsicher konnten Sie die "weiß-rote" Markierung überfahren?

	1	2	3	4	5	6	7	
sehr schlecht	<input type="radio"/>	sehr gut						

* 5. Wie haben Sie die Schräglage beim Lenken bzw. bei Kurvenfahrt empfunden?

	1	2	3	4	5	6	7	
unrealistisch	<input type="radio"/>	realistisch						

* Ist Ihnen bei der Fahrt etwas Ungewöhnliches aufgefallen?

Ja Nein

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Nachbefragung

Seitentitel ...

Probandennummer

Q1. Nachbefragung

* Bewerten Sie bitte Ihr aktuelles Befinden!

	Kein	Leicht	Moderat	Stark
Generelles Unbehagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ermüdung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kopfschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augenschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwierigkeiten bei der Fokussierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erhöhter Speichelfluss	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwitzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Übelkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Konzentrationsschwierigkeiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eingeschränkte Aufnahmefähigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verschwommene Sicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei offenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei geschlossenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Orientierungsverlust	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q2. Nachbefragung

* Ist Ihnen aufgefallen, dass der Lenker in einer Konfiguration nicht frei drehbar war?

Ja Nein

* Möchten Sie Anmerkungen zum heutigen Versuch insgesamt geben?

Ja Nein

Anmerkungen

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

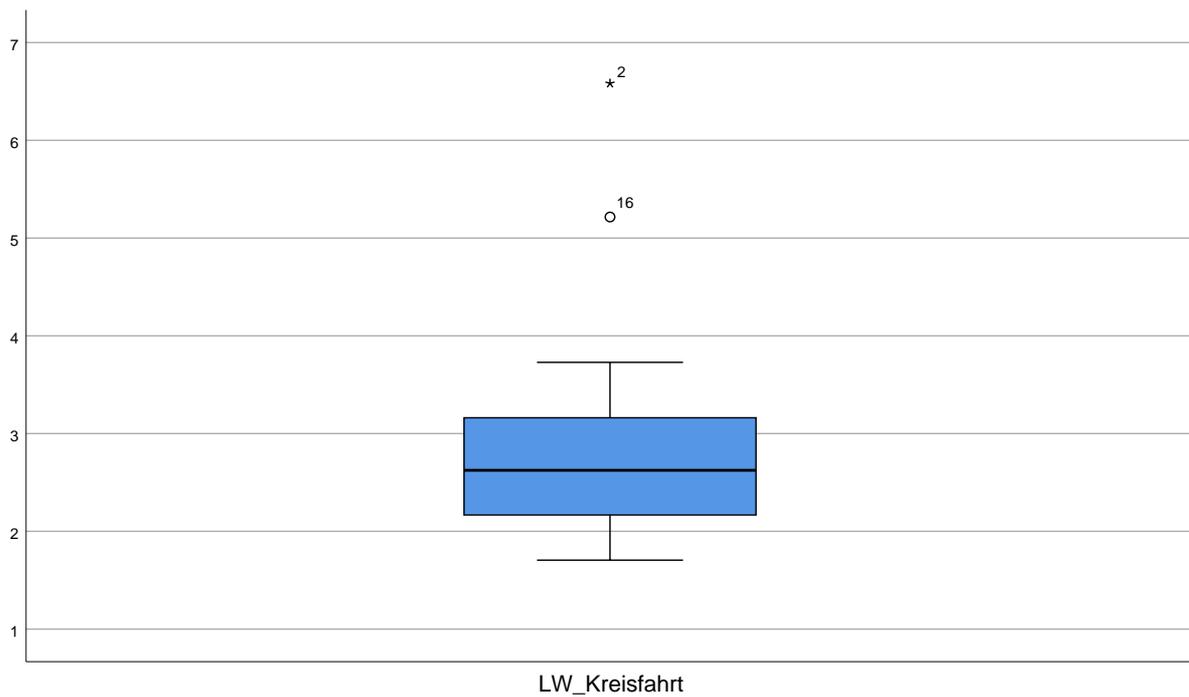
	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
LW_Kreisfahrt	19	100,0%	0	0,0%	19	100,0%
LM_Kreisfahrt	19	100,0%	0	0,0%	19	100,0%

Tests auf Normalverteilung

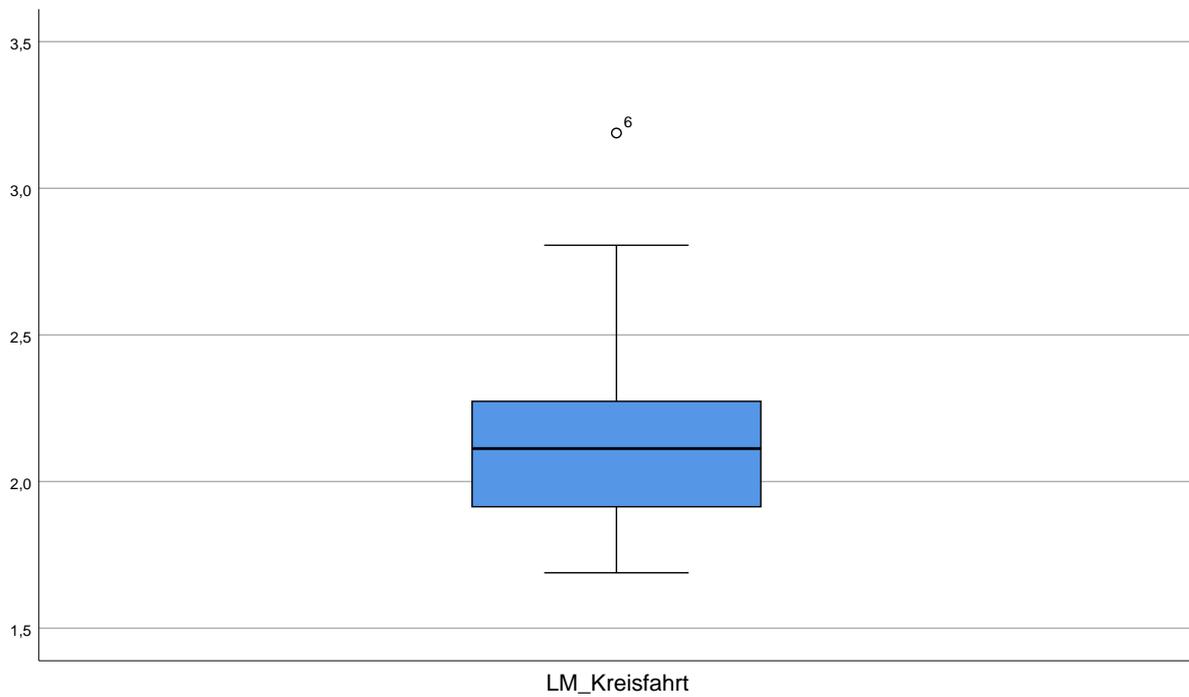
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
LW_Kreisfahrt	,212	19	,025	,799	19	,001
LM_Kreisfahrt	,175	19	,130	,887	19	,028

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

LW_Kreisfahrt



LM_Kreisfahrt



Deskriptive Statistik

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
LW_Kreisfahrt	19	1,71	6,58	2,9288	1,20738
LM_Kreisfahrt	19	1,69	3,19	2,1826	,37480
Gültige Werte (Listenweise)	19				

Deskriptive Statistik

	Varianz
LW_Kreisfahrt	1,458
LM_Kreisfahrt	,140
Gültige Werte (Listenweise)	

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Der Median der Differenzen zwischen LW_Kreisfahrt und LM_Kreisfahrt ist gleich 0.	Wilcoxon-Vorzeichenrangingstest bei verbundenen Stichproben	,004	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Häufigkeiten

Statistiken

		LW_Kreisfahrt	LM_Kreisfahrt
N	Gültig	19	19
	Fehlend	0	0
Mittelwert		2,9288	2,1826
Median		2,6246	2,1126
Std.-Abweichung		1,20738	,37480
Perzentile	25	2,1577	1,8907
	50	2,6246	2,1126
	75	3,1659	2,2948

Häufigkeiten

Statistiken

		LW_U_Turn2	LM_U_Turn2
N	Gültig	9	9
	Fehlend	16	16
Mittelwert		3,6604	2,2718
Median		2,4488	1,7273
Std.-Abweichung		2,65257	1,64458
Varianz		7,036	2,705
Perzentile	25	1,9861	1,5496
	50	2,4488	1,7273
	75	4,3205	2,0733

Häufigkeitstabelle

LW_U_Turn2

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,60	1	4,0	11,1	11,1
	1,94	1	4,0	11,1	22,2
	2,03	1	4,0	11,1	33,3
	2,41	1	4,0	11,1	44,4
	2,45	1	4,0	11,1	55,6
	3,73	1	4,0	11,1	66,7
	3,83	1	4,0	11,1	77,8
	4,81	1	4,0	11,1	88,9
	10,14	1	4,0	11,1	100,0
	Gesamt	9	36,0	100,0	
Fehlend	System	16	64,0		
Gesamt		25	100,0		

LM_U_Turn2

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,44	1	4,0	11,1	11,1
	1,49	1	4,0	11,1	22,2
	1,61	1	4,0	11,1	33,3
	1,68	1	4,0	11,1	44,4
	1,73	1	4,0	11,1	55,6
	1,74	1	4,0	11,1	66,7
	1,90	1	4,0	11,1	77,8
	2,25	1	4,0	11,1	88,9
	6,61	1	4,0	11,1	100,0
	Gesamt	9	36,0	100,0	
Fehlend	System	16	64,0		
Gesamt		25	100,0		

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
LW_U_Turn1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
LM_U_Turn1	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%

Deskriptive Statistik

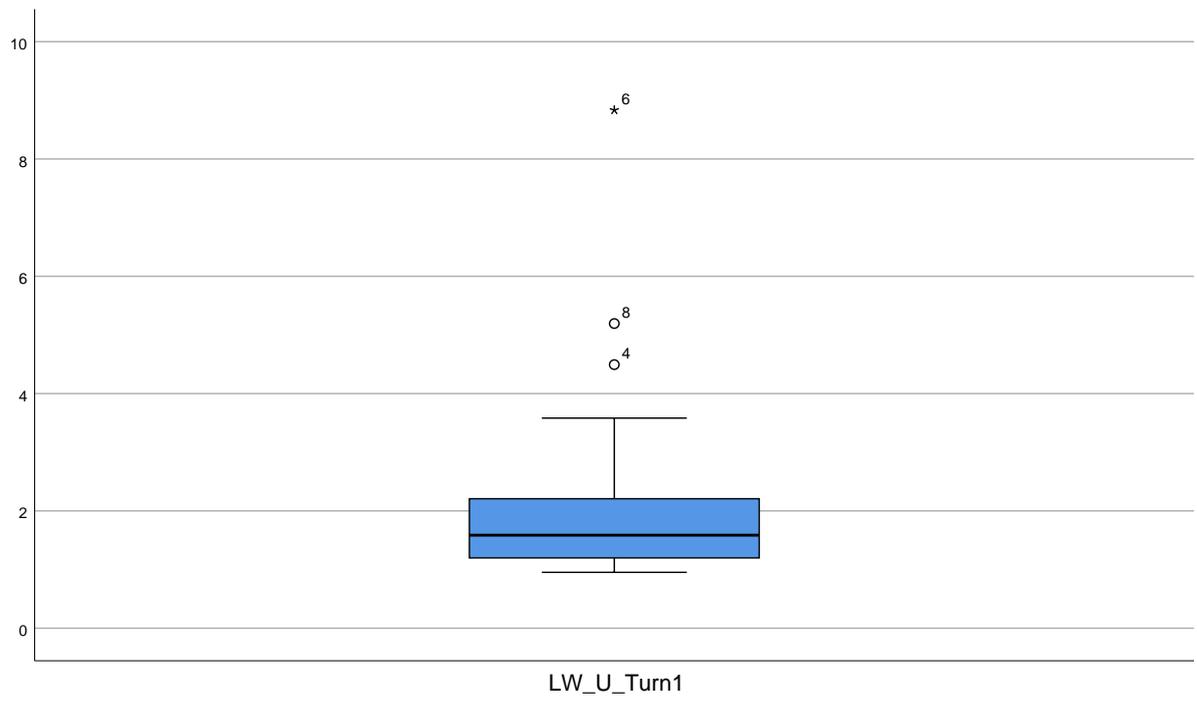
		Statistik	Std.-Fehler	
LW_U_Turn1	Mittelwert	2,1949	,35194	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,4685	
		Obergrenze	2,9212	
	5% getrimmtes Mittel	1,9349		
	Median	1,5857		
	Varianz	3,096		
	Std.-Abweichung	1,75968		
	Minimum	,95		
	Maximum	8,83		
	Spannweite	7,88		
	Interquartilbereich	1,30		
	Schiefe	2,674	,464	
	Kurtosis	8,137	,902	
LM_U_Turn1	Mittelwert	1,4894	,19678	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,0833	
		Obergrenze	1,8956	
	5% getrimmtes Mittel	1,3262		
	Median	1,2380		
	Varianz	,968		
	Std.-Abweichung	,98392		
	Minimum	,73		
	Maximum	5,85		
	Spannweite	5,12		
	Interquartilbereich	,33		
	Schiefe	3,922	,464	
	Kurtosis	17,329	,902	

Tests auf Normalverteilung

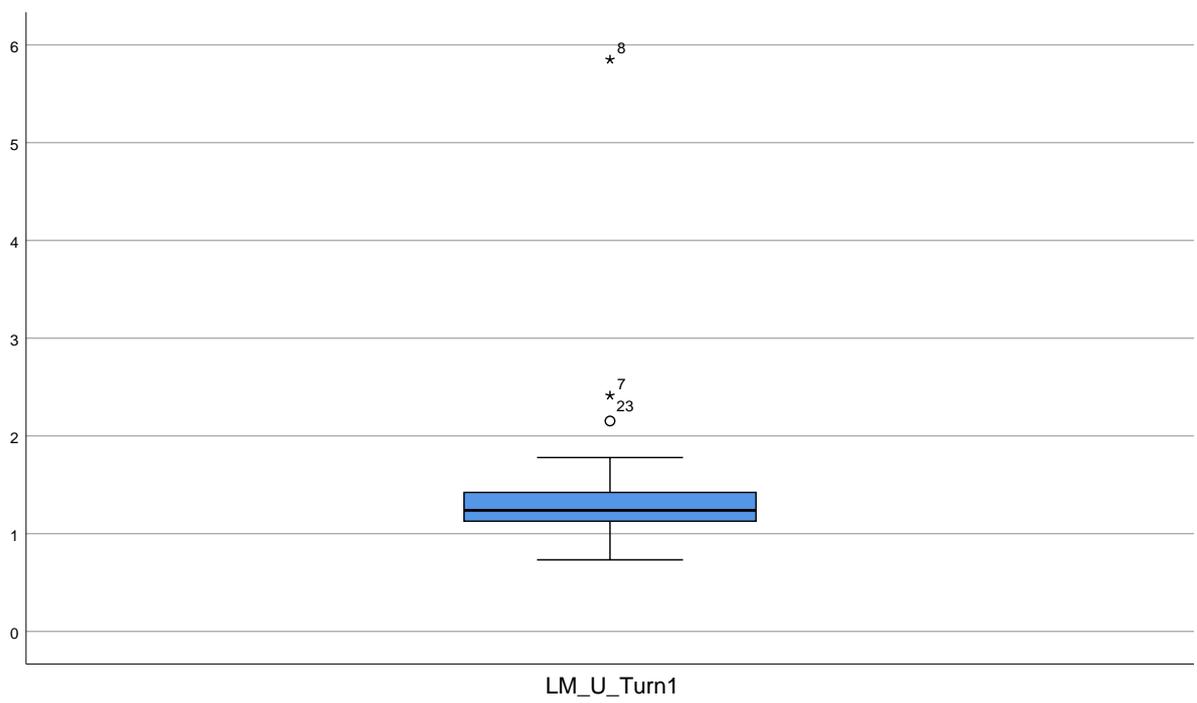
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
LW_U_Turn1	,270	25	,000	,664	25	,000
LM_U_Turn1	,317	25	,000	,533	25	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

LW_U_Turn1



LM_U_Turn1



Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
LW_U_Turn2	9	36,0%	16	64,0%	25	100,0%
LM_U_Turn2	9	36,0%	16	64,0%	25	100,0%

Deskriptive Statistik

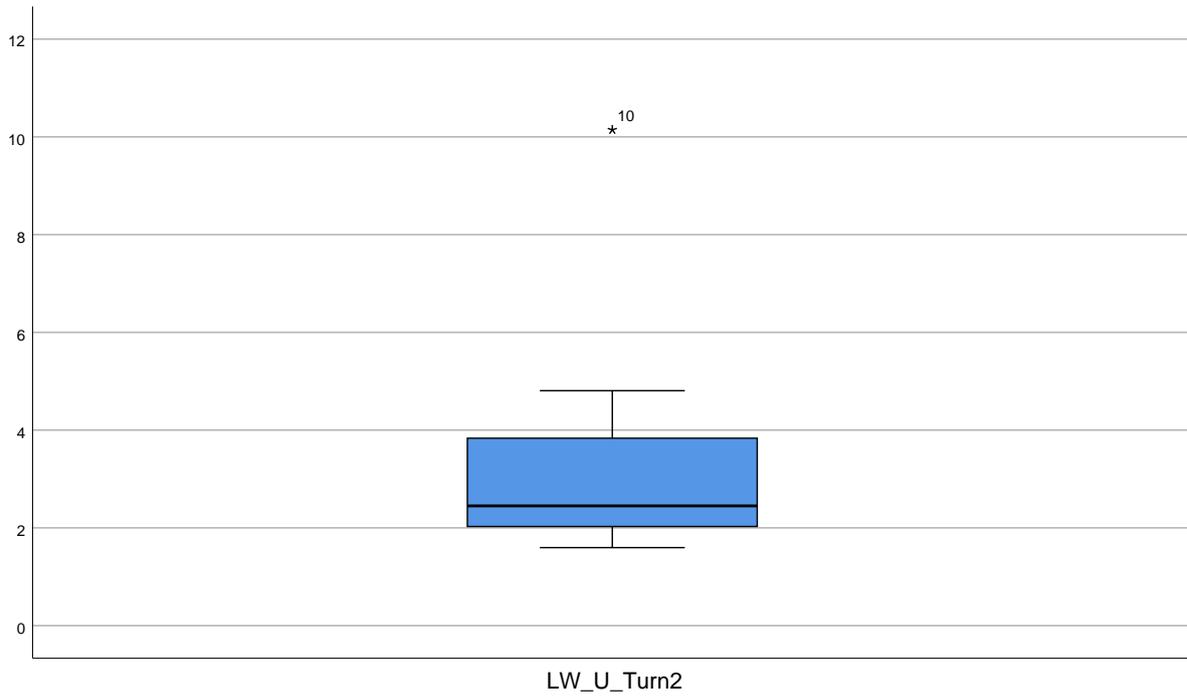
		Statistik	Std.-Fehler	
LW_U_Turn2	Mittelwert	3,6604	,88419	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,6214	
		Obergrenze	5,6993	
	5% getrimmtes Mittel	3,4148		
	Median	2,4488		
	Varianz	7,036		
	Std.-Abweichung	2,65257		
	Minimum	1,60		
	Maximum	10,14		
	Spannweite	8,55		
	Interquartilbereich	2,33		
	Schiefe	2,171	,717	
Kurtosis	5,206	1,400		
LM_U_Turn2	Mittelwert	2,2718	,54819	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,0076	
		Obergrenze	3,5359	
	5% getrimmtes Mittel	2,0768		
	Median	1,7273		
	Varianz	2,705		
	Std.-Abweichung	1,64458		
	Minimum	1,44		
	Maximum	6,61		
	Spannweite	5,17		
	Interquartilbereich	,52		
	Schiefe	2,883	,717	
Kurtosis	8,459	1,400		

Tests auf Normalverteilung

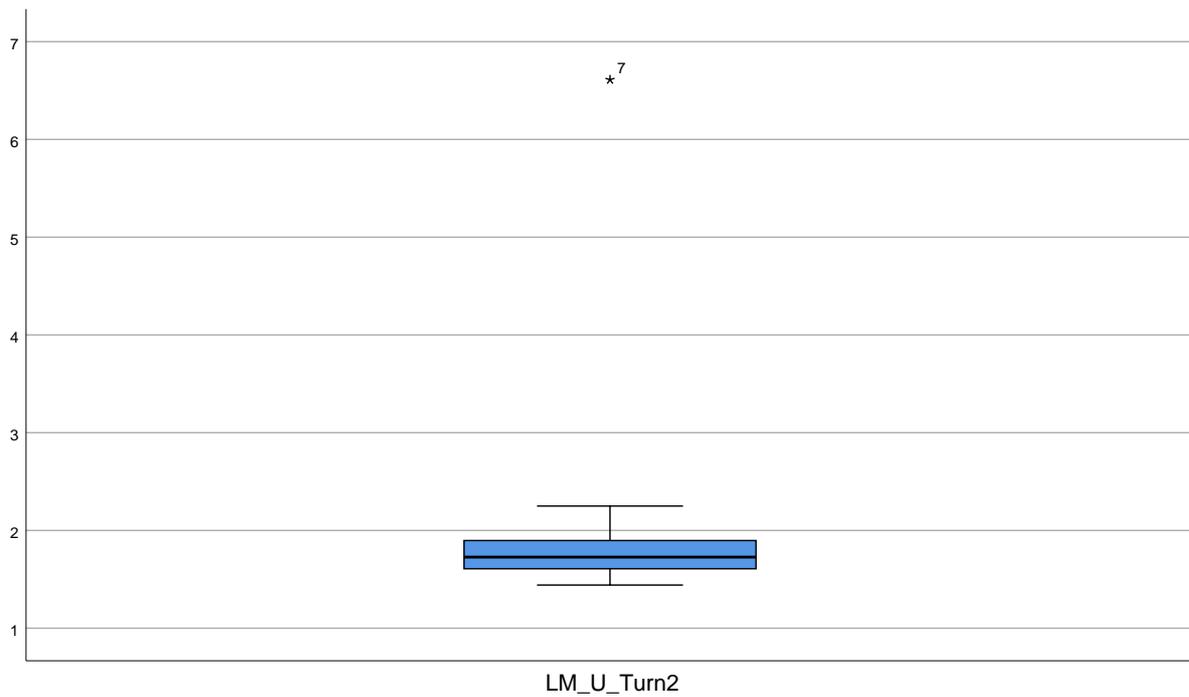
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
LW_U_Turn2	,252	9	,105	,738	9	,004
LM_U_Turn2	,394	9	,000	,519	9	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

LW_U_Turn2



LM_U_Turn2



Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Der Median der Differenzen zwischen LW_U_Turn1 und LM_U_Turn1 ist gleich 0.	Wilcoxon-Vorzeichenrangingtest bei verbundenen Stichproben	,019	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Der Median der Differenzen zwischen LW_U_Turn2 und LM_U_Turn2 ist gleich 0.	Wilcoxon-Vorzeichenrangingest bei verbundenen Stichproben	,173	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Lenkwinkel_80km/h	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
Lenkmoment_80km/h	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%

Deskriptive Statistik

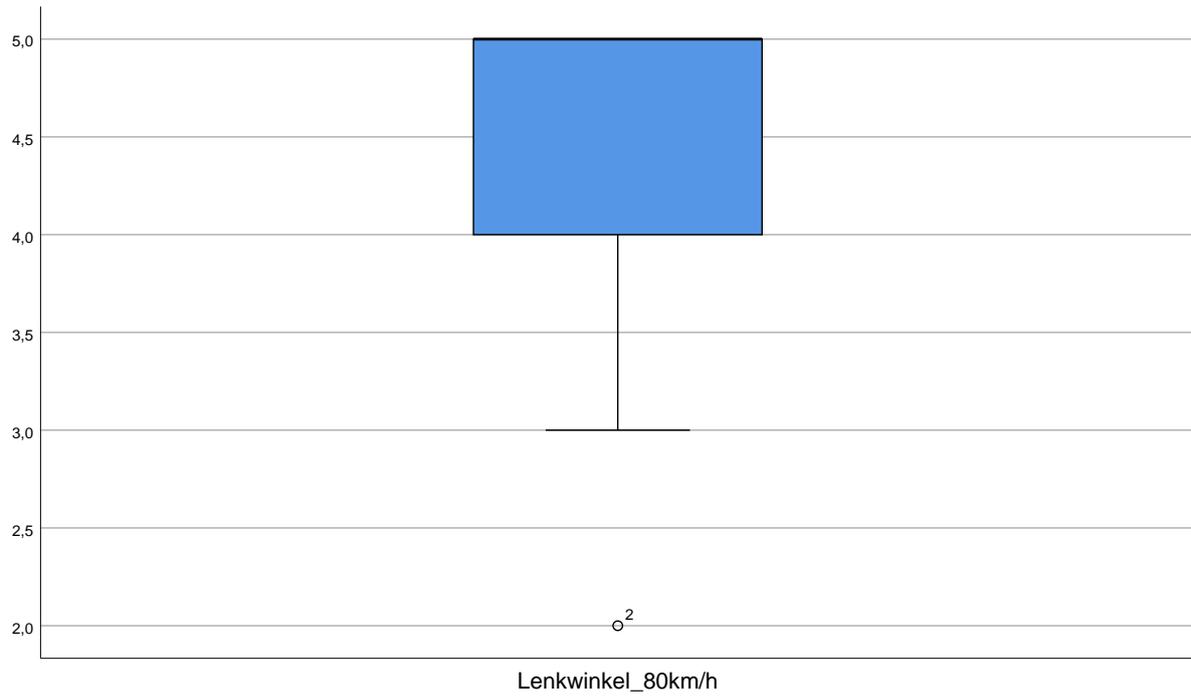
		Statistik	Std.-Fehler	
Lenkwinkel_80km/h	Mittelwert	4,36	,162	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	4,03	
		Obergrenze	4,69	
	5% getrimmtes Mittel	4,44		
	Median	5,00		
	Varianz	,657		
	Std.-Abweichung	,810		
	Minimum	2		
	Maximum	5		
	Spannweite	3		
	Interquartilbereich	1		
	Schiefe	-1,293	,464	
	Kurtosis	1,574	,902	
Lenkmoment_80km/h	Mittelwert	3,68	,229	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,21	
		Obergrenze	4,15	
	5% getrimmtes Mittel	3,76		
	Median	4,00		
	Varianz	1,310		
	Std.-Abweichung	1,145		
	Minimum	1		
	Maximum	5		
	Spannweite	4		
	Interquartilbereich	2		
	Schiefe	-,936	,464	
	Kurtosis	,663	,902	

Tests auf Normalverteilung

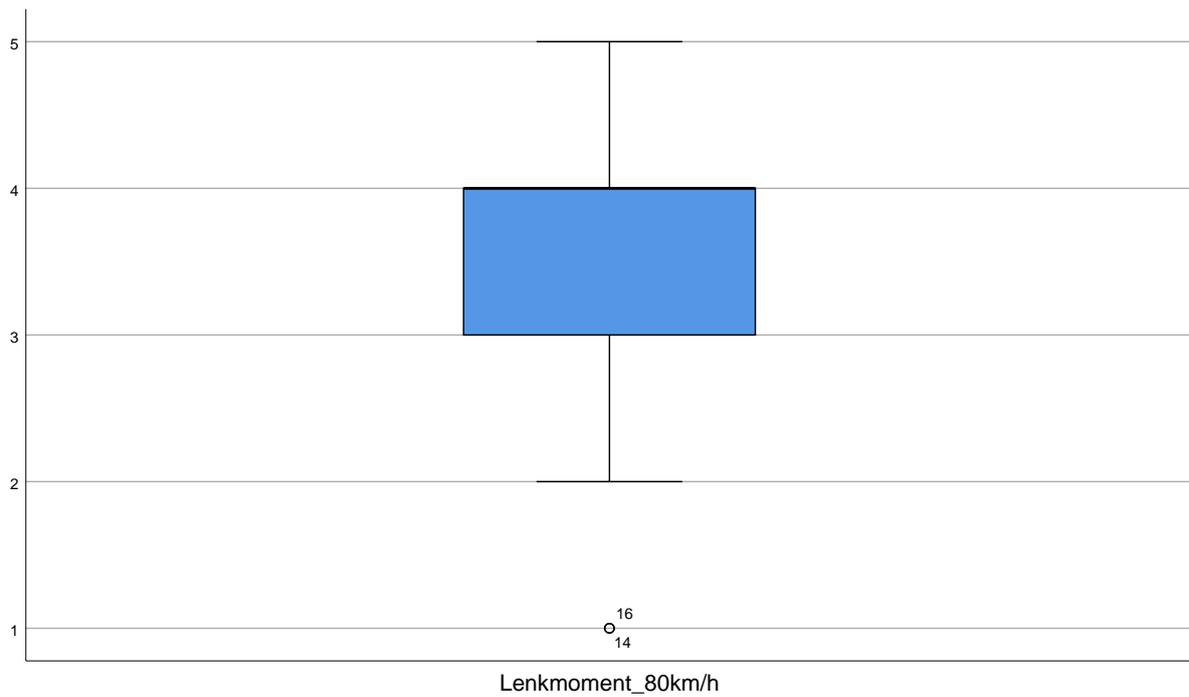
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Lenkwinkel_80km/h	,305	25	,000	,753	25	,000
Lenkmoment_80km/h	,250	25	,000	,858	25	,002

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Lenkwinkel_80km/h



Lenkmoment_80km/h



Nichtparametrische Tests

Deskriptive Statistiken

	N	Perzentile		
		25.	50. (Median)	75.
Lenkwinkel_80km/h	25	4,00	5,00	5,00
Lenkmoment_80km/h	25	3,00	4,00	4,50

Friedman-Test

Ränge

	Mittlerer Rang
Lenkwinkel_80km/h	1,70
Lenkmoment_80km/h	1,30

Statistik für Test^a

N	25
Chi-Quadrat	5,556
df	1
Asymptotische Signifikanz	,018

a. Friedman-Test

Häufigkeiten

Statistiken

		Lenkwinkel_80k m/h	Lenkmoment_8 0km/h
N	Gültig	25	25
	Fehlend	0	0
Mittelwert		4,36	3,68
Median		5,00	4,00
Std.-Abweichung		,810	1,145
Perzentile	25	4,00	3,00
	50	5,00	4,00
	75	5,00	4,50

Häufigkeitstabelle

Lenkwinkel_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	2	1	4,0	4,0	4,0
	3	2	8,0	8,0	12,0
	4	9	36,0	36,0	48,0
	5	13	52,0	52,0	100,0
	Gesamt	25	100,0	100,0	

Lenkmoment_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1	2	8,0	8,0	8,0
	2	1	4,0	4,0	12,0
	3	6	24,0	24,0	36,0
	4	10	40,0	40,0	76,0
	5	6	24,0	24,0	100,0
Gesamt		25	100,0	100,0	

Häufigkeiten

Statistiken

		Lenkwinkel_80k m/h	Lenkmoment_8 0km/h
N	Gültig	25	25
	Fehlend	0	0
Mittelwert		3,40	2,64
Median		3,00	3,00
Std.-Abweichung		1,118	1,221
Perzentile	25	3,00	2,00
	50	3,00	3,00
	75	4,00	3,50

Häufigkeitstabelle

Lenkwinkel_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1	2	8,0	8,0	8,0
	2	2	8,0	8,0	16,0
	3	9	36,0	36,0	52,0
	4	8	32,0	32,0	84,0
	5	4	16,0	16,0	100,0
	Gesamt	25	100,0	100,0	

Lenkmoment_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	0	1	4,0	4,0	4,0
	1	4	16,0	16,0	20,0
	2	5	20,0	20,0	40,0
	3	9	36,0	36,0	76,0
	4	5	20,0	20,0	96,0
	5	1	4,0	4,0	100,0
Gesamt	25	100,0	100,0		

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Fälle					
	Gültig		Fehlend		Gesamt	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Lenkwinkel_80km/h	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%
Lenkmoment_80km/h	25	100,0%	0	0,0%	25	100,0%

Deskriptive Statistik

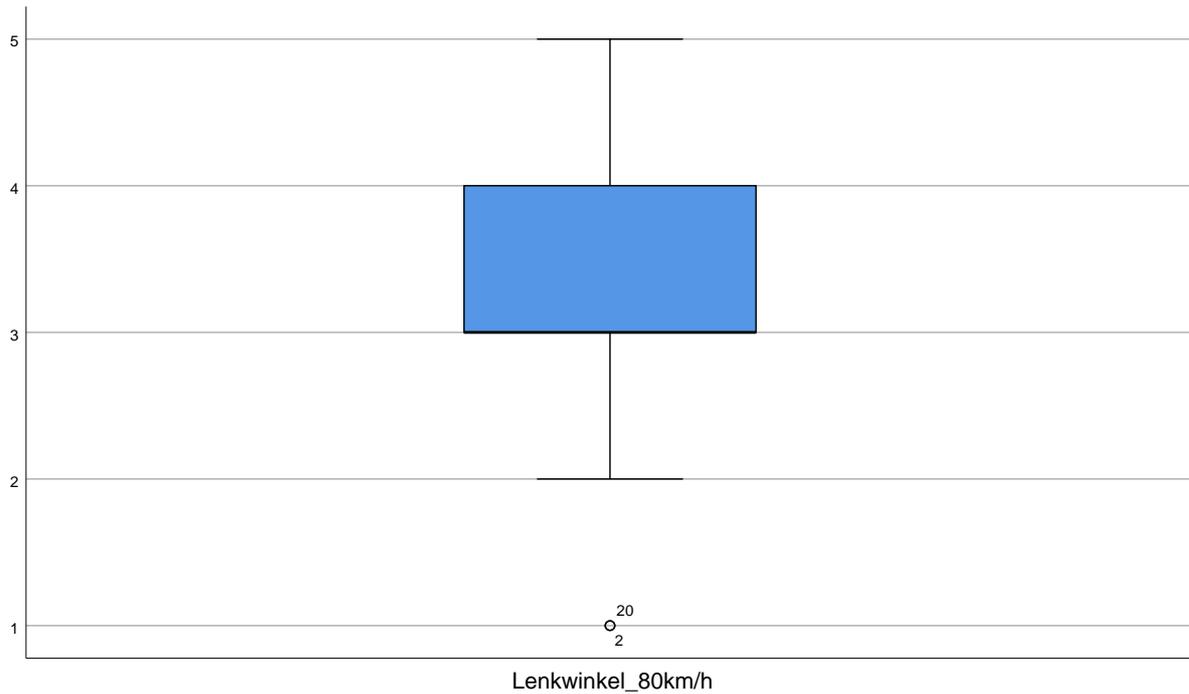
		Statistik	Std.-Fehler
Lenkwinkel_80km/h	Mittelwert	3,40	,224
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,94
		Obergrenze	3,86
	5% getrimmtes Mittel	3,44	
	Median	3,00	
	Varianz	1,250	
	Std.-Abweichung	1,118	
	Minimum	1	
	Maximum	5	
	Spannweite	4	
	Interquartilbereich	1	
	Schiefe	-,506	,464
	Kurtosis	,063	,902
Lenkmoment_80km/h	Mittelwert	2,64	,244
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,14
		Obergrenze	3,14
	5% getrimmtes Mittel	2,66	
	Median	3,00	
	Varianz	1,490	
	Std.-Abweichung	1,221	
	Minimum	0	
	Maximum	5	
	Spannweite	5	
	Interquartilbereich	2	
	Schiefe	-,279	,464
	Kurtosis	-,362	,902

Tests auf Normalverteilung

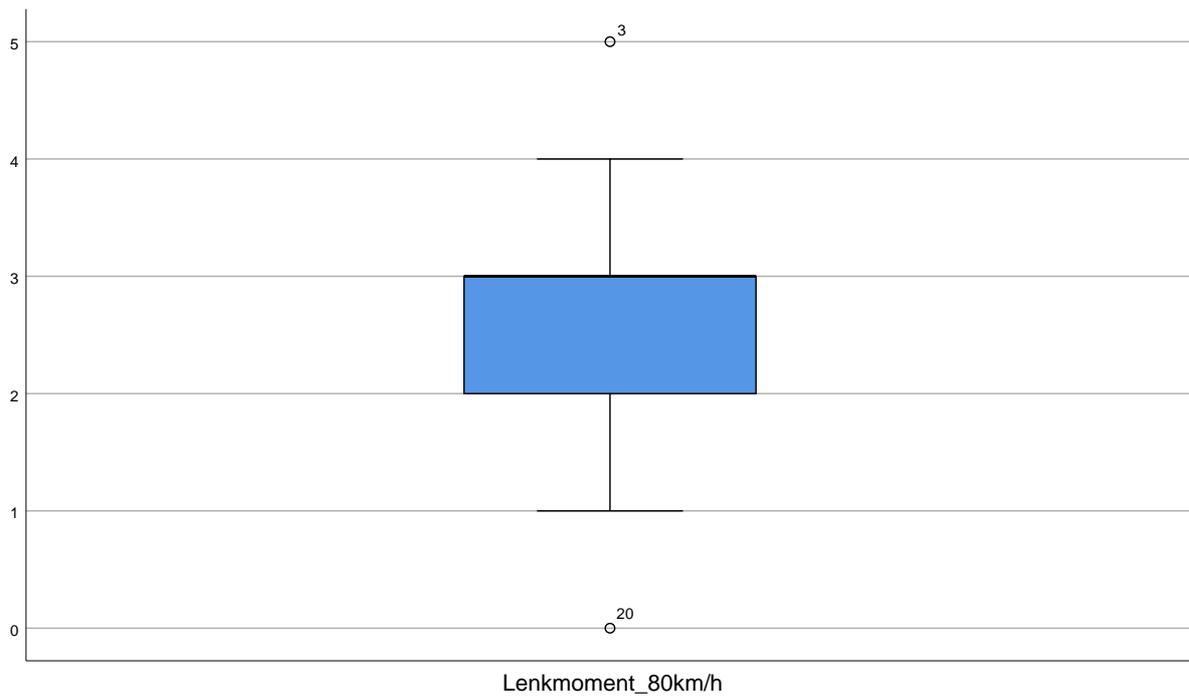
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Lenkwinkel_80km/h	,200	25	,011	,899	25	,017
Lenkmoment_80km/h	,216	25	,004	,935	25	,115

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Lenkwinkel_80km/h



Lenkmoment_80km/h



Nichtparametrische Tests

Friedman-Test

Ränge

	Mittlerer Rang
Lenkwinkel_80km/h	1,72
Lenkmoment_80km/h	1,28

Statistik für Test^a

N	25
Chi-Quadrat	8,067
df	1
Asymptotische Signifikanz	,005

a. Friedman-Test

Häufigkeiten

Statistiken

		Lenkwinkel_80k m/h	Lenkmoment_80 km/h
N	Gültig	25	25
	Fehlend	0	0
Mittelwert		3,36	2,44
Median		3,00	2,00
Std.-Abweichung		1,254	1,387
Varianz		1,573	1,923
Perzentile	25	2,50	1,00
	50	3,00	2,00
	75	4,50	4,00

Häufigkeitstabelle

Lenkwinkel_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1	2	8,0	8,0	8,0
	2	4	16,0	16,0	24,0
	3	8	32,0	32,0	56,0
	4	5	20,0	20,0	76,0
	5	6	24,0	24,0	100,0
	Gesamt	25	100,0	100,0	

Lenkmoment_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	0	2	8,0	8,0	8,0
	1	5	20,0	20,0	28,0
	2	6	24,0	24,0	52,0
	3	5	20,0	20,0	72,0
	4	6	24,0	24,0	96,0
	5	1	4,0	4,0	100,0
	Gesamt	25	100,0	100,0	

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}
1	Der Median der Differenzen zwischen Lenkwinkel_80km/h und Lenkmoment_80km/h ist gleich 0.	Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben	<,001

Hypothesentestübersicht

	Entscheidung
1	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist ,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben

Zusammenfassung des Wilcoxon-Tests bei verbundenen Stichproben

Gesamtzahl	25
Teststatistik	5,500
Standardfehler	20,524
Standardisierte Teststatistik	-3,459
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	<,001

Häufigkeiten

Statistiken

		Lenkwinkel_80k m/h	Lenkmoment_80 km/h
N	Gültig	25	25
	Fehlend	0	0
Mittelwert		2,36	1,68
Median		3,00	2,00
Std.-Abweichung		1,578	1,376
Varianz		2,490	1,893
Perzentile	25	1,00	,00
	50	3,00	2,00
	75	3,00	3,00

Häufigkeitstabelle

Lenkwinkel_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	0	3	12,0	12,0	12,0
	1	7	28,0	28,0	40,0
	2	1	4,0	4,0	44,0
	3	9	36,0	36,0	80,0
	4	2	8,0	8,0	88,0
	5	3	12,0	12,0	100,0
Gesamt		25	100,0	100,0	

Lenkmoment_80km/h

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	0	7	28,0	28,0	28,0
	1	5	20,0	20,0	48,0
	2	4	16,0	16,0	64,0
	3	7	28,0	28,0	92,0
	4	2	8,0	8,0	100,0
Gesamt		25	100,0	100,0	

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig. ^{a,b}
1	Der Median der Differenzen zwischen Lenkwinkel_80km/h und Lenkmoment_80km/h ist gleich 0.	Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben	,007

Hypothesentestübersicht

	Entscheidung
1	Nullhypothese ablehnen

a. Das Signifikanzniveau ist ,050.

b. Asymptotische Signifikanz wird angezeigt.

Wilcoxon-Test bei verbundenen Stichproben

Zusammenfassung des Wilcoxon-Tests bei verbundenen Stichproben

Gesamtzahl	25
Teststatistik	11,000
Standardfehler	15,264
Standardisierte Teststatistik	-2,719
Asymptotische Sig. (zweiseitiger Test)	,007

C Anhang Studie 2

Leitfaden Lenkerkonfiguration (KW 25-28 2022)

Einführung | Lernphase | Testphase I | Testphase II | Testphase III | Nachbefragung

Version: 1.0

Stand siehe Dateiname

VP-Nr.: _____
Datum: _____
Uhrzeit: _____
Versuchsleiter 1 (Moderation): _____
Versuchsleiter 2 (Bedienung): _____

Bedingungen Modalitäten

- a. Isometrische Lenkung
- b. Position Feedback
- c. Entgegengesetztes Position Feedback

Szenarien und deren Reihenfolge (nicht permutiert)

- A. Aschheim: Lernphase I oder Lernphase P (randomisiert)
- B. Aschheim: Lernphase P oder Lernphase I (randomisiert)

- C. Autobahn: Testphase I oder Testphase P (randomisiert)
- D. Autobahn: Testphase I oder Testphase P (wie in C.) mit Nebenaufgabe

- E. Autobahn: Testphase P oder Testphase I (randomisiert)
- F. Autobahn: Testphase p oder Testphase I (wie in E.) mit Nebenaufgabe

- G. Autobahn: Testphase E
- H. Autobahn: Testphase E mit Nebenaufgabe

< **Motor anschalten, ggf. Lenkrad fixieren oder Lenkrad lösen & Kalibrieren** >>
<< **Mikrofon, Helm, Sturmhaube bereitlegen**>>
<< **Licht aus, Dynamik starten, Sound starten** >>
<< **Spider: Autobahn** >>

Text 1. Fahrt:

Wir beginnen nun mit der Eingewöhnungsfahrt, bei der Sie ein Gefühl für das Motorrad entwickeln sollen. Diese **dauert ca. 5 Minuten** und wir werden Sie in dieser Zeit in Ruhe üben lassen. Sie befinden sich gleich auf einer Autobahn und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h**. Versuchen Sie sich an die StVO zu halten. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.

Text 1. Fahrt:

Wir beginnen nun mit der 2. Eingewöhnungsfahrt. Diese dauert ca. 5 Minuten und wir werden Sie in dieser Zeit in Ruhe üben lassen. Sie befinden sich wieder gleich auf einer Autobahn und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h**. Versuchen Sie sich an die StVO zu halten. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.

Lenken Sie vorsichtig und versuchen Sie zu Beginn geradeaus zu Fahren. Wenn Sie sich sicher fühlen, erproben Sie die Lenkung und führen Sie vorsichtige Spurwechsel aus. Ziel ist es, ein Gefühl für die Lenkung zu entwickeln.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< **Simulation starten** >>
<< **5 Min Timer starten** >>

Mögliche Hinweise:

- Sehr vorsichtig lenken, wenig Kraft
- Blicktechnik -> in die Kurve schauen
- Mit dem Oberkörper lenken -> leicht in die Kurven lehnen
- Prinzip „Gegenlenken/Impulslenken“
- Ggf. mit einer Hand probieren
- Beschleunigen, falls zu langsam und daher instabil
- Hinweis auf Verstoß gegen die StVO (zu schnell/zu langsam bei 10% Abweichung)

Später:

Versuchen Sie kontrolliert zu Bremsen und zu Beschleunigen. Wenn Sie sich sicher fühlen, wechseln Sie die Fahrstreifen.

Ende Tesfahrt:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Es wird wieder dunkel. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen.

Fahraufgabe doppelter Spurwechsel:

Wir werden nun eine Fahraufgabe starten: Ihre Aufgabe ist es, zwischen den Hütchen durchzufahren. Sie starten mit 80km/h

<< **Simulation anhalten** >>
<< **Simulation: Spurwechsel starten** >>

Ende Fahraufgabe:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Es wird wieder dunkel. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen.

Wir kommen in den Raum und schalten dann das Licht an. Bitte steigen Sie erst dann vom Motorrad ab. Danach werden Sie einige Fragen am Tablet beantworten. In dieser Zeit werden wir das Motorrad kalibrieren.

<< Simulation beenden >>

<< Probandennummer und Lenkkonfiguration auf der 1. Seite des Fragebogens eintragen >>

<< Proband zum Tablet führen >>

<< ein Versuchsleiter: startet die Dynamik Isom_Norm (auswählen und starten) >>

<< anderer: ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen >>

Rotation Lenkkonfiguration (siehe Excel "Randomisierung und Nebenaufgabe"):

A I --> P --> I --> P --> E

B I --> P --> P --> I --> E

C P --> I --> I --> P --> E

D P --> I --> P --> I --> E

<< Messfahrten entsprechend ankreuzen! Zwischenbefragungen ankreuzen >>

Rotation Nebenaufgabe (siehe Excel "Randomisierung und Nebenaufgabe"):

A 1 --> 2 --> 3 -->

B 1 --> 3 --> 2 -->

C 2 --> 1 --> 3 -->

D 2 --> 3 --> 1 -->

E 3 --> 1 --> 2 -->

F 3 --> 2 --> 1 -->

<< Messfahrten entsprechend ankreuzen! Zwischenbefragungen ankreuzen >>

<< **Motor anschalten, ggf. Lenkrad fixieren oder Lenkrad lösen & Kalibrieren** >>
<< **Licht aus, Dynamik starten, Sound starten** >>
<< **Spider: Autobahn** >>

Text 1. Fahrt:

Wir beginnen nun mit der 2. Eingewöhnungsfahrt. Diese dauert ca. 5 Minuten und wir werden Sie in dieser Zeit in Ruhe üben lassen.

Sie befinden sich wieder auf einer Autobahn und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h**. Versuchen Sie sich an die StVO zu halten. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.

Lenken Sie vorsichtig und versuchen Sie zu Beginn geradeaus zu Fahren. Wenn Sie sich sicher fühlen, erproben Sie die Lenkung und führen Sie vorsichtige Spurwechsel aus. Ziel ist es, ein Gefühl für die Lenkung zu entwickeln.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< **Simulation starten** >>
<< **5 Min Timer starten** >>

Mögliche Hinweise:

- Sehr vorsichtig lenken, wenig Kraft
- Blicktechnik -> in die Kurve schauen
- Mit dem Oberkörper lenken -> leicht in die Kurven lehnen
- Prinzip „Gegenlenken/Impulslenken“
- Ggf. mit einer Hand probieren
- Beschleunigen, falls zu langsam und daher instabil
- Hinweis auf Verstoß gegen die StVO (zu schnell/zu langsam bei 10% Abweichung)

Später:

Versuchen Sie kontrolliert zu Bremsen und zu Beschleunigen. Wenn Sie sich sicher fühlen, wechseln Sie die Fahrstreifen.

Ende Testfahrt:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Es wird wieder dunkel. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen.

Fahraufgabe doppelter Spurwechsel:

Wir werden nun eine Fahraufgabe starten: Ihre Aufgabe ist es, zwischen den Hütchen durchzufahren.

<< **Simulation anhalten** >>
<< **Simulation: Spurwechsel starten** >>

Ende Fahraufgabe:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Es wird wieder dunkel. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen.

Wir kommen in den Raum und schalten dann das Licht an. Bitte steigen Sie erst dann vom Motorrad ab. Danach werden Sie einige Fragen am Tablet beantworten. In dieser Zeit werden wir das Motorrad kalibrieren.

<< Simulation beenden >>

<< Probandennummer und Lenkkonfiguration auf der 1. Seite des Fragebogens eintragen >>

<< Proband zum Tablet führen >>

<< ein Versuchsleiter: **Autobahn laden & startet die Dynamik Isom_Norm (auswählen und starten) >>**

<< anderer: ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen >>

1. Messfahrt -> Lenkkonfiguration: <input type="checkbox"/> I → P <input type="checkbox"/> P → I	Beginn max 00:30 Dauer 10 min
--	--

Wir starten nun mit dem Hauptteil der Studie.

<< **Dynamik neustarten** >>

<< **Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen** >>

Als nächstes folgt die 1. Messfahrt, bei der Sie wieder ca. **5 Minuten** nach der **StVO** fahren werden. Bitte **bleiben Sie stets auf der rechten Fahrbahn**.

Zur Erinnerung: Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von 80km/h**.

Der Ablauf ist automatisiert und Sie werden von mir keine weiteren Anweisungen erhalten. Am Ende der Messfahrt melde ich mich wieder bei Ihnen.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< **Simulation starten: Autobahn!** >>

<< **5 Min Timer starten** >>

Ende:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.

<< **Simulation beenden, Licht einschalten** >>

Geht es Ihnen gut?

Zwischenbefragung nach der 1. Messfahrt ohne Nebenaufgabe	3 min
--	--------------

Als nächstes folgt eine Zwischenbefragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.

<< **Licht anschalten, Proband zum Tablet führen** >>

<< **erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen** >>

<< **ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen** >>

<< **Proband wieder zum M-FaSi bringen** >>

Vielen Dank!

1. Messfahrt mit Nebenaufgabe	Beginn max 00:40 Dauer 10 min
--------------------------------------	--

In dieser Fahrt erhalten Sie zusätzlich die am Anfang vorgestellte Nebenaufgabe.

Wir werden Ihnen eine Abfolge von Buchstaben und Ziffern vorlesen. Sie müssen sich diese merken und entsprechend der beiden Regeln wiedergeben

1. Regel: Nennen Sie zunächst alle vorgekommenen Ziffern – diese müssen in aufsteigender Reihenfolge genannt werden.
2. Regel: Im Anschluss nennen Sie bitte alle vorgekommenen Buchstaben alphabetisch sortiert.

Die von uns vorgelesene Abfolge wird nicht den beiden Regeln entsprechen. Sie müssen sich daher die Folge merken und entsprechend sortiert wiedergeben.

<< **Dynamik neustarten** >>

<< **Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen** >>

Bitte fahren Sie wie zuvor nach der **StVO** fahren werden. Der Abschnitt wird wieder ca. 5 Minuten dauern. Bitte **bleiben Sie stets auf der rechten Fahrbahn**.

Zur Erinnerung: Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von 80km/h**.

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< **Simulation starten** >>

<< **5 Min Timer starten** >>

Ende:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.

<< **Simulation beenden, Licht einschalten** >>

Geht es Ihnen gut?

Zwischenbefragung nach der 1. Messfahrt mit Nebenaufgabe	3 min
---	--------------

Als nächstes folgt eine Zwischenbefragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.

<< **Licht anschalten, Proband zum Tablet führen** >>

<< **erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen** >>

<< **ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen** >>

<< **Proband wieder zum M-FaSi bringen** >>

Vielen Dank! Sie haben den ersten Abschnitt der Studie abgeschlossen.

2. Messfahrt --> Lenkkonfiguration:	Beginn max 00:50 Dauer 10 min
<p data-bbox="156 297 504 327"><< Dynamik neustarten >></p> <p data-bbox="156 327 1233 358"><< Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen >></p> <p data-bbox="156 394 1278 425"><i>Als nächstes folgt die 2. Messfahrt, bei der Sie die gleichen Situationen erleben werden, wie zuvor.</i></p> <p data-bbox="156 459 1369 521"><i>Zur Erinnerung: Sie starten mit einer Startgeschwindigkeit von 80km/h. Versuchen Sie auf der rechten Fahrspur zu bleiben und halten Sie sich an die StVO.</i></p> <p data-bbox="156 555 1362 618"><i>Der Ablauf ist automatisiert und Sie werden von mir keine weiteren Anweisungen erhalten. Am Ende der Messfahrt melde ich mich wieder bei Ihnen.</i></p> <p data-bbox="156 651 1174 683"><i>Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.</i></p> <p data-bbox="156 716 483 745"><< Simulation starten >></p> <p data-bbox="156 745 496 777"><< 5 Min Timer starten >></p> <p data-bbox="156 810 225 842"><u>Ende:</u></p> <p data-bbox="156 842 1302 904"><i>Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.</i></p> <p data-bbox="156 938 727 969"><< Simulation beenden, Licht einschalten >></p> <p data-bbox="156 1003 376 1034"><i>Geht es Ihnen gut?</i></p>	

Zwischenbefragung nach der 2. Messfahrt ohne Nebenaufgabe	5 min
<p data-bbox="156 1128 1347 1236"><i>Als nächstes folgt eine Zwischenbefragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.</i></p> <p data-bbox="156 1283 815 1314"><< Licht anschalten, Proband zum Tablet führen >></p> <p data-bbox="156 1326 1139 1357"><< erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen >></p> <p data-bbox="156 1368 1031 1400"><< ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen >></p> <p data-bbox="156 1411 711 1442"><< Proband wieder zum M-FaSi bringen >></p> <p data-bbox="156 1489 309 1520"><i>Vielen Dank!</i></p>	

2. Messfahrt mit Nebenaufgabe	Beginn max 01:00 Dauer 10 min
<p>In dieser Fahrt erhalten Sie wieder die Nebenaufgabe.</p> <p>Wir werden Ihnen eine Abfolge von Buchstaben und Ziffern vorlesen. Sie müssen sich diese merken und entsprechend der beiden Regeln wiedergeben</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Regel: Nennen Sie zunächst alle vorgekommenen Ziffern – diese müssen in aufsteigender Reihenfolge genannt werden. 2. Regel: Im Anschluss nennen Sie bitte alle vorgekommenen Buchstaben alphabetisch sortiert. <p>Die von uns vorgelesene Abfolge wird nicht den beiden Regeln entsprechen. Sie müssen sich daher die Folge merken und entsprechend sortiert wiedergeben.</p>	
<p><< Dynamik neustarten >></p> <p><< Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen >></p> <p>Bitte fahren Sie wie zuvor nach der StVO fahren werden. Der Abschnitt wird wieder ca. 5 Minuten dauern. Bitte bleiben Sie stets auf der rechten Fahrbahn.</p> <p>Zur Erinnerung: Sie starten mit einer Startgeschwindigkeit von 80km/h.</p> <p>Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.</p> <p><< Simulation starten >></p> <p><< 5 Min Timer starten >></p> <p>Ende: Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.</p> <p><< Simulation beenden, Licht einschalten >></p> <p>Geht es Ihnen gut?</p>	

Zwischenbefragung nach der 2. Messfahrt mit Nebenaufgabe	3 min
<p>Als nächstes folgt eine Zwischenbefragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.</p> <p><< Licht anschalten, Proband zum Tablet führen >></p> <p><< erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen >></p> <p><< ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen >></p> <p><< Proband wieder zum M-FaSi bringen >></p> <p>Vielen Dank! Sie haben den zweiten Abschnitt der Studie abgeschlossen.</p>	

3. Messfahrt --> Lenkkonfiguration: E	Beginn max 01:10 Dauer 10 min
<p data-bbox="161 264 504 293"><< Dynamik neustarten >></p> <p data-bbox="161 297 1230 327"><< Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen >></p> <p data-bbox="161 360 1326 421"><i>Als nächstes folgt die 3. Und letzte Messfahrt, bei der Sie die gleichen Situationen erleben werden, wie zuvor.</i></p> <p data-bbox="161 454 1366 515"><i>Zur Erinnerung: Sie starten mit einer Startgeschwindigkeit von 80km/h. Versuchen Sie auf der rechten Fahrspur zu bleiben und halten Sie sich an die StVO.</i></p> <p data-bbox="161 548 1358 609"><i>Der Ablauf ist automatisiert und Sie werden von mir keine weiteren Anweisungen erhalten. Am Ende der Messfahrt melde ich mich wieder bei Ihnen.</i></p> <p data-bbox="161 642 1171 672"><i>Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.</i></p> <p data-bbox="161 705 480 734"><< Simulation starten >></p> <p data-bbox="161 739 496 768"><< 5 Min Timer starten >></p> <p data-bbox="161 801 225 831"><u>Ende:</u></p> <p data-bbox="161 835 1302 896"><i>Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.</i></p> <p data-bbox="161 929 727 958"><< Simulation beenden, Licht einschalten >></p> <p data-bbox="161 992 376 1021"><i>Geht es Ihnen gut?</i></p>	

Zwischenbefragung nach der 3. Messfahrt ohne Nebenaufgabe.	3 min
<p data-bbox="161 1158 1342 1263"><i>Als letztes folgt wieder eine Befragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.</i></p> <p data-bbox="161 1319 812 1348"><< Licht anschalten, Proband zum Tablet führen >></p> <p data-bbox="161 1352 1139 1382"><< erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen >></p>	

3. Messfahrt mit Nebenaufgabe

Beginn max 01:20 | Dauer 15 min

In dieser Fahrt erhalten Sie ein letztes mal die Nebenaufgabe.

Wir werden Ihnen eine Abfolge von Buchstaben und Ziffern vorlesen. Sie müssen sich diese merken und entsprechend der beiden Regeln wiedergeben

- 1. Regel: Nennen Sie zunächst alle vorgekommenen Ziffern – diese müssen in aufsteigender Reihenfolge genannt werden.*
- 2. Regel: Im Anschluss nennen Sie bitte alle vorgekommenen Buchstaben alphabetisch sortiert.*

Die von uns vorgelesene Abfolge wird nicht den beiden Regeln entsprechen. Sie müssen sich daher die Folge merken und entsprechend sortiert wiedergeben.

<< **Dynamik neustarten** >>

<< **Spider: Protokolldaten EIN (grün), Namen vergeben, Versuchsfahrt auswählen** >>

*Bitte fahren Sie wie zuvor nach dem **StVO** fahren werden. Der Abschnitt wird wieder ca. 5 Minuten dauern. Bitte **bleiben Sie stets auf der rechten Fahrbahn**.*

*Zur Erinnerung: Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von 80km/h**.*

Ich starte jetzt die Simulation. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< **Simulation starten** >>

<< **5 Min Timer starten** >>

Ende:

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren. Ich schalte das Licht wieder an und Sie bleiben bitte auf dem Motorrad sitzen.

<< **Simulation beenden, Licht einschalten** >>

Geht es Ihnen gut?

Zwischenbefragung nach der 3. Messfahrt mit Nebenaufgabe	5 min
<p><i>Als nächstes folgt eine Zwischenbefragung auf dem iPad. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, bis wir das Licht im Raum angeschaltet haben. Im Anschluss können Sie die Fragen in Ruhe im Vorraum beantworten.</i></p> <p><< Licht anschalten, Proband zum Tablet führen >></p> <p><< erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen >></p>	

Abschlussbefragung	5 min
<p><i>Nun folgt der letzte Fragebogen.</i></p> <p><< erste Seite: Probandennummer und Lenkkonfiguration selbst ausfüllen >></p> <p><i>Vielen Dank, dass Sie an der Studie teilgenommen haben – Sie haben uns damit sehr geholfen!</i></p> <p><< Simulator für nächsten Probanden vorbereiten >></p> <p><< Sturmhaube etc. bereitlegen >></p> <p><< benutztes Mikrofon an Strom anstecken >></p> <p><< ggf. Schraube lösen und kalibrieren oder Schraube festdrehen >></p>	

Fragebogen Lenkkonfigurationen

Teil Einführung

Allgemeine Fragen

- Alter: _____
- Geschlecht: _____
- Modell des aktuellen Tourenmotorrads: _____
- Anzahl der Jahre, in denen Sie Motorrad gefahren sind: _____
- Durchschnittliche Kilometer pro Jahr: _____
- Gesamte Fahrerfahrung in 1.000 km: _____
- Sind Sie schon einmal mit einem Simulator gefahren? ja nein

SSQ

Symptome der Simulatorkrankheit, die während der Fahrt aufgetreten sind:	kein	leicht	moderat	stark
generelles Unbehagen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ermüdung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwierigkeiten bei der Fokussierung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erhöhter Speichelfluss:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwitzen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Übelkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Konzentrationsschwierigkeiten:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eingeschränkte Aufnahmefähigkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verschwommene Sicht:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwindel bei offenen Augen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwindel bei geschlossenen Augen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Orientierungsverlust:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magenbeschwerden (verminderte Übelk.):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil ohne Nebenaufgabe

Lenkgefühl

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht auf einem geraden Kurs zu halten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erfüllung der Fahraufgabe war leicht:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist angenehm:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist intuitiv:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie erwartet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei meinem Motorrad:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es ist leicht, sich an das Fahrzeug zu gewöhnen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teilbeanspruchung

	niedrig		hoch	
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil mit Nebenaufgabe

RALI

	niedrig		hoch	
visuelle Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
auditive Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
zeitliche Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Systeminterferenz: Beeinflussung der Fahraufgabe durch Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nötiger Aufwand zu Situationsbewältigung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
situationsbedingter Stress:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
negative Emotionen bei der Fahrzeughandhabung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teilbeanspruchung

	niedrig		hoch	
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil ohne Nebenaufgabe

Lenkgefühl

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht auf einem geraden Kurs zu halten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erfüllung der Fahraufgabe war leicht:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist angenehm:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist intuitiv:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie erwartet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei meinem Motorrad:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es ist leicht, sich an das Fahrzeug zu gewöhnen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teilbeanspruchung

	niedrig		hoch	
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil mit Nebenaufgabe

RALI

	niedrig				hoch	
visuelle Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
auditive Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
zeitliche Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
Systeminterferenz: Beeinflussung der Fahraufgabe durch Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe	<input type="checkbox"/>					
nötiger Aufwand zu Situationsbewältigung:	<input type="checkbox"/>					
situationsbedingter Stress:	<input type="checkbox"/>					
negative Emotionen bei der Fahrzeughandhabung:	<input type="checkbox"/>					

Teilbeanspruchung

	niedrig			hoch
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil ohne Nebenaufgabe

Lenkgefühl

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft zu
Das Fahrzeug lässt sich gut stabilisieren:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht auf einem geraden Kurs zu halten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Fahrzeug ist leicht zu handhaben:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Erfüllung der Fahraufgabe war leicht:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist angenehm:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist intuitiv:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie erwartet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Lenkung des Fahrzeugs ist wie bei meinem Motorrad:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Es ist leicht, sich an das Fahrzeug zu gewöhnen:

Teilbeanspruchung

	niedrig		hoch	
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil mit Nebenaufgabe

RALI

	niedrig			hoch		
visuelle Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
auditive Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
zeitliche Anforderung der Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
Systeminterferenz: Beeinflussung der Fahraufgabe durch Nebenaufgabe:	<input type="checkbox"/>					
benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe	<input type="checkbox"/>					
nötiger Aufwand zu Situationsbewältigung:	<input type="checkbox"/>					
situationsbedingter Stress:	<input type="checkbox"/>					
negative Emotionen bei der Fahrzeughandhabung:	<input type="checkbox"/>					

Teilbeanspruchung

	niedrig		hoch	
In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen - also denken, entscheiden, beobachten?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen (geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
In welchem Maße fühlen Sie sich bei der Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil Abschluss

SSQ

Symptome der Simulatorkrankheit, die während der Fahrt aufgetreten sind:	kein	leicht	moderat	stark
generelles Unbehagen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ermüdung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kopfschmerzen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwierigkeiten bei der Fokussierung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
erhöhter Speichelfluss:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwitzen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Übelkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Konzentrationsschwierigkeiten:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
eingeschränkte Aufnahmefähigkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
verschwommene Sicht:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwindel bei offenen Augen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schwindel bei geschlossenen Augen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Orientierungsverlust:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magenbeschwerden (verminderte Übelk.):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lenkkonfigurationen

Gab es Unterschiede zwischen den einzelnen Abschnitten?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein					
Welche/r Abschnitt/e waren gleich:	<input type="checkbox"/> 1,2 & 3	<input type="checkbox"/> 1 & 2	<input type="checkbox"/> 1 & 3	<input type="checkbox"/> 2 & 3	<input type="checkbox"/> keiner war gleich		
Welche/r Abschnitt/e war/en unterschiedlich im Vergleich zu den anderen:	<input type="checkbox"/> alle waren unterschiedlich	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> keiner war unterschiedlich		
Falls es Unterschiede gab: In welchen Abschnitt/en war das Lenken am einfachsten?	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 1&2	<input type="checkbox"/> 1&3	<input type="checkbox"/> 2&3	<input type="checkbox"/> es gab keine Unterschiede

In welchen
Abschnitt/en hat
sich das Lenken
gewohnt und
angenehm
angefühlt?

- keinem 1 2 3 1 & 2 1 & 3 2 & 3 allen

Wie würden Sie die Lenkerbewegung charakterisieren? Bitte setzen Sie
ein Kreuz an der Stelle die auf den jeweiligen Abschnitt am besten zutrifft

Entgegen-
gesetzt bewegungslos zu steif realistisch zu nachgiebig übertrieben

Abschnitt 1

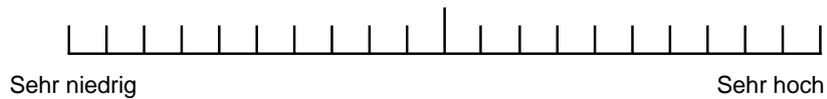
Abschnitt 2

Abschnitt 3

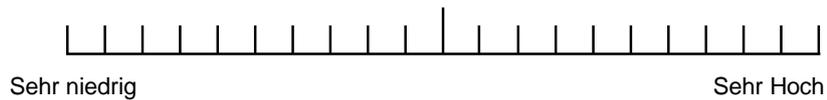
NASA TLX

Proband ID	Konzept	Abschnitt
------------	---------	-----------

In welchem Maße stellt diese Aufgabe geistige Anforderungen –
also denken und entscheiden?



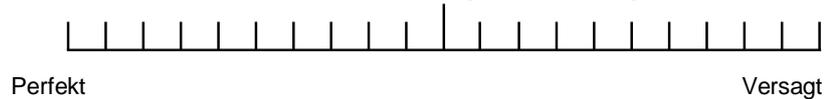
Wieviel körperliche Aktivität, also drücken, ziehen, bewegen ist erforderlich?



Welchen Zeitdruck empfinden Sie aufgrund der
Geschwindigkeitsanforderungen, die die Aufgabe stellt?



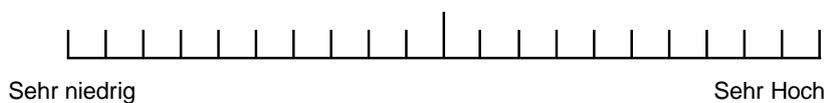
Wie zufrieden sind Sie mit dem Grad an Aufgabenerfüllung, den Sie erreicht haben?



Wie sehr mussten Sie sich insgesamt anstrengen
(geistig, körperlich) um diese Aufgabe zu bewältigen?



In welchem Maße fühlen Sie sich bei der
Erfüllung dieser Aufgabe unzufrieden?



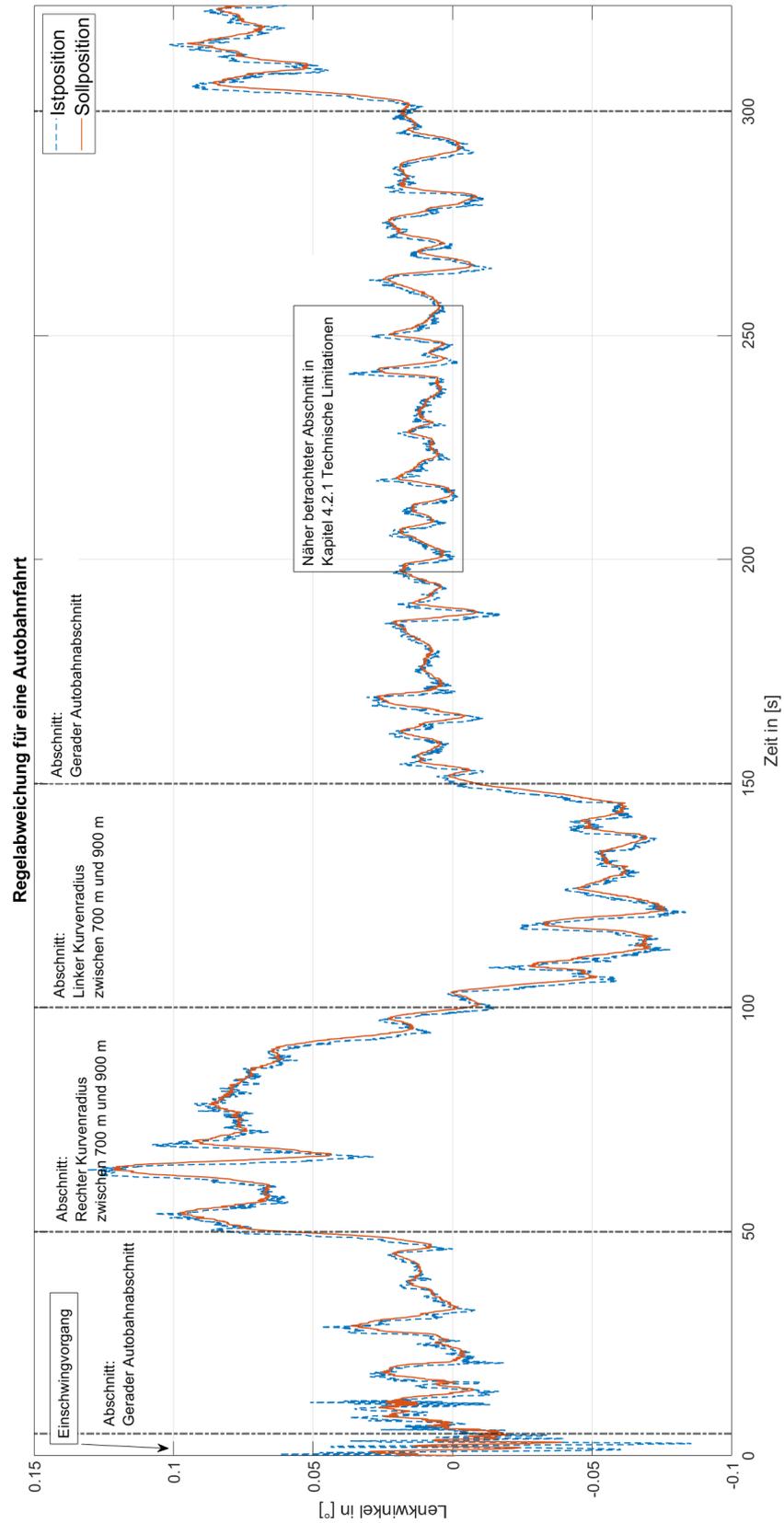


Abbildung C.1: Aufgezeichnete Soll- und Istposition der Positionsrückmeldung, zur Beurteilung der Regelgüte im Betrieb und mit nichtlinearen Störgrößen

Allgemeines Lineares Modell

Innersubjektfaktoren

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Abhängige Variable
1	1	Ohne_Iso
	2	Mit_Iso
2	1	Ohne_Pos
	2	Mit_posi

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Std.- Abweichung	N
Ohne_Iso	6,1094	3,53062	32
Mit_Iso	9,9271	3,51824	32
Ohne_Pos	7,4740	3,59114	32
Mit_posi	10,1615	2,90762	32

Multivariate Tests^a

Effekt		Wert	F	Hypothese df
Lenkung	Pillai-Spur	,060	1,981 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,940	1,981 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,064	1,981 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,064	1,981 ^b	1,000
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,688	68,274 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,312	68,274 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	2,202	68,274 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	2,202	68,274 ^b	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,044	1,425 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,956	1,425 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,046	1,425 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,046	1,425 ^b	1,000

Multivariate Tests^a

Effekt		Fehler df	Sig.
Lenkung	Pillai-Spur	31,000	,169
	Wilks-Lambda	31,000	,169
	Hotelling-Spur	31,000	,169
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,169
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,000
	Wilks-Lambda	31,000	,000
	Hotelling-Spur	31,000	,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,242
	Wilks-Lambda	31,000	,242
	Hotelling-Spur	31,000	,242
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,242

a. Design: Konstanter Term

Innersubjektdesign: Lenkung + Nebenaufgabe + Lenkung * Nebenaufgabe

b. Exakte Statistik

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
Lenkung	1,000	,000	0	.	1,000
Nebenaufgabe	1,000	,000	0	.	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	1,000	,000	0	.	1,000

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Epsilon	
	Huynh-Feldt	Untergrenze
Lenkung	1,000	1,000
Nebenaufgabe	1,000	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	1,000	1,000

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate
Lenkung	Sphärizität angenommen	20,453	1	20,453
	Greenhouse-Geisser	20,453	1,000	20,453
	Huynh-Feldt	20,453	1,000	20,453
	Untergrenze	20,453	1,000	20,453
Fehler(Lenkung)	Sphärizität angenommen	320,054	31	10,324
	Greenhouse-Geisser	320,054	31,000	10,324
	Huynh-Feldt	320,054	31,000	10,324
	Untergrenze	320,054	31,000	10,324
Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	338,542	1	338,542
	Greenhouse-Geisser	338,542	1,000	338,542
	Huynh-Feldt	338,542	1,000	338,542
	Untergrenze	338,542	1,000	338,542
Fehler(Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen	153,715	31	4,959
	Greenhouse-Geisser	153,715	31,000	4,959
	Huynh-Feldt	153,715	31,000	4,959
	Untergrenze	153,715	31,000	4,959
Lenkung * Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	10,219	1	10,219
	Greenhouse-Geisser	10,219	1,000	10,219
	Huynh-Feldt	10,219	1,000	10,219
	Untergrenze	10,219	1,000	10,219
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen	222,371	31	7,173
	Greenhouse-Geisser	222,371	31,000	7,173
	Huynh-Feldt	222,371	31,000	7,173
	Untergrenze	222,371	31,000	7,173

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Quelle		F	Sig.
Lenkung	Sphärizität angenommen	1,981	,169
	Greenhouse-Geisser	1,981	,169
	Huynh-Feldt	1,981	,169
	Untergrenze	1,981	,169
Fehler(Lenkung)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		
Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	68,274	,000
	Greenhouse-Geisser	68,274	,000
	Huynh-Feldt	68,274	,000
	Untergrenze	68,274	,000
Fehler(Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		
Lenkung * Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	1,425	,242
	Greenhouse-Geisser	1,425	,242
	Huynh-Feldt	1,425	,242
	Untergrenze	1,425	,242
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate
Lenkung	Linear		20,453	1	20,453
Fehler(Lenkung)	Linear		320,054	31	10,324
Nebenaufgabe		Linear	338,542	1	338,542
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear	153,715	31	4,959
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	10,219	1	10,219
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear	222,371	31	7,173

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	F	Sig.
Lenkung	Linear		1,981	,169
Fehler(Lenkung)	Linear			
Nebenaufgabe		Linear	68,274	,000
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear		
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	1,425	,242
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear		

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Konstanter Term	9070,361	1	9070,361	382,108	,000
Fehler	735,868	31	23,738		

Parameterschätzer

Abhängige Variable	Parameter	Regressionskoeffizient B	Standard Fehler	T	Sig.
Ohne_Iso	Konstanter Term	6,109	,624	9,789	,000
Mit_Iso	Konstanter Term	9,927	,622	15,961	,000
Ohne_Pos	Konstanter Term	7,474	,635	11,773	,000
Mit_posi	Konstanter Term	10,161	,514	19,769	,000

Parameterschätzer

Abhängige Variable	Parameter	95%-Konfidenzintervall	
		Untergrenze	Obergrenze
Ohne_Iso	Konstanter Term	4,836	7,382
Mit_Iso	Konstanter Term	8,659	11,196
Ohne_Pos	Konstanter Term	6,179	8,769
Mit_posi	Konstanter Term	9,113	11,210

Geschätzte Randmittel

1. Lenkung

Schätzer

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	8,018	,570	6,856	9,181
2	8,818	,455	7,889	9,746

Paarweise Vergleiche

Maß: MEASURE_1

(I)Lenkung	(J)Lenkung	Mittlere Differenz (I-J)	Standard Fehler	Sig. ^a	95% Konfidenzintervall Untergrenze
1	2	-,799	,568	,169	-1,958
2	1	,799	,568	,169	-,359

Paarweise Vergleiche

Maß: MEASURE_1

(I)Lenkung	(J)Lenkung	95% Konfidenzintervall Obergrenze
1	2	,359
2	1	1,958

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

a. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

Multivariate Tests

	Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Sig.
Pillai-Spur	,060	1,981 ^a	1,000	31,000	,169
Wilks-Lambda	,940	1,981 ^a	1,000	31,000	,169
Hotelling-Spur	,064	1,981 ^a	1,000	31,000	,169
Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,064	1,981 ^a	1,000	31,000	,169

Jedes F prüft den multivariaten Effekt von Lenkung. Diese Tests basieren auf den linear unabhängigen paarweisen Vergleichen zwischen den geschätzten Randmitteln.

a. Exakte Statistik

2. Nebenaufgabe

Schätzer

Maß: MEASURE_1

Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	6,792	,534	5,702	7,881
2	10,044	,404	9,221	10,867

Paarweise Vergleiche

Maß: MEASURE_1

(I)Nebenaufgabe	(J)Nebenaufgabe	Mittlere Differenz (I-J)	Standard Fehler	Sig. ^b	95% Konfidenzintervall Untergrenze
1	2	-3,253 [*]	,394	,000	-4,055
2	1	3,253 [*]	,394	,000	2,450

Paarweise Vergleiche

Maß: MEASURE_1

(I)Nebenaufgabe	(J)Nebenaufgabe	95% Konfidenzintervall Obergrenze
1	2	-2,450
2	1	4,055

Basiert auf den geschätzten Randmitteln

*. Die mittlere Differenz ist auf dem ,05-Niveau signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

Multivariate Tests

	Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Sig.
Pillai-Spur	,688	68,274 ^a	1,000	31,000	,000
Wilks-Lambda	,312	68,274 ^a	1,000	31,000	,000
Hotelling-Spur	2,202	68,274 ^a	1,000	31,000	,000
Größte charakteristische Wurzel nach Roy	2,202	68,274 ^a	1,000	31,000	,000

Jedes F prüft den multivariaten Effekt von Nebenaufgabe. Diese Tests basieren auf den linear unabhängigen paarweisen Vergleichen zwischen den geschätzten Randmitteln.

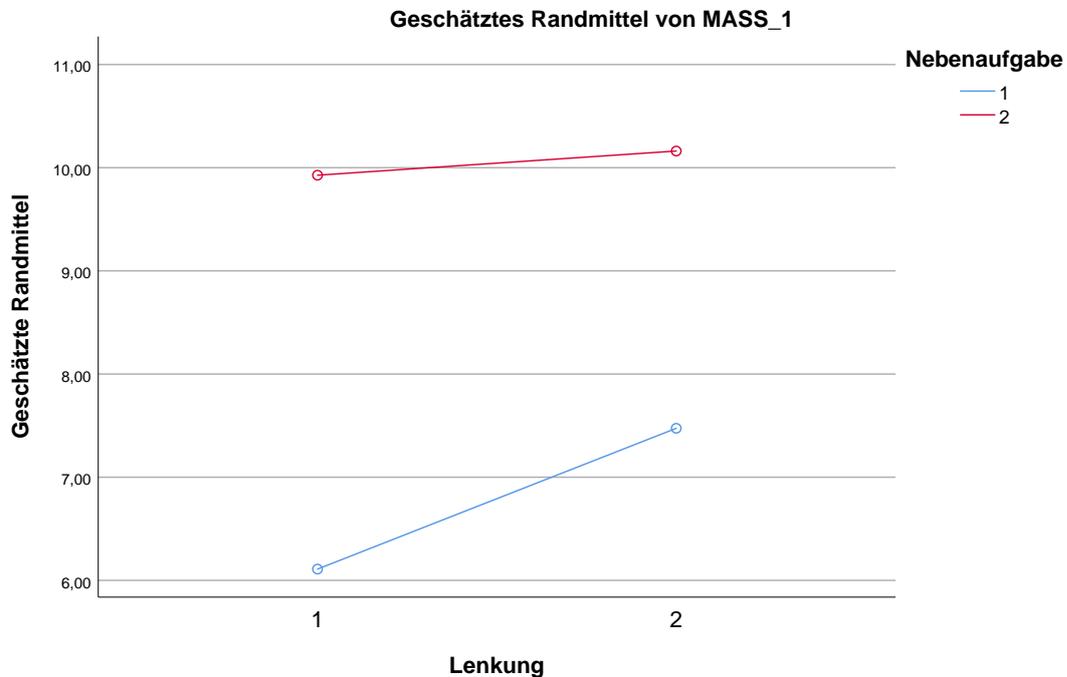
a. Exakte Statistik

3. Lenkung * Nebenaufgabe

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
1	1	6,109	,624	4,836	7,382
	2	9,927	,622	8,659	11,196
2	1	7,474	,635	6,179	8,769
	2	10,161	,514	9,113	11,210

Profildiagramm



Univariat

Test der Homogenität der Varianzen

		Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
Iso	Basiert auf dem Mittelwert	,600	4	123	,664
	Basiert auf dem Median	,434	4	123	,784
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,434	4	115,350	,784
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,571	4	123	,684

Innersubjektfaktoren

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Abhängige Variable
1	1	IsoOhne
	2	IsoMit
2	1	PosOhne
	2	PosMit

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate
Lenkung	Linear		,020	1	,020
Fehler(Lenkung)	Linear		,133	39	,003
Nebenaufgabe		Linear	,212	1	,212
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear	,134	39	,003
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	,015	1	,015
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear	,155	39	,004

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	F	Sig.
Lenkung	Linear		5,732	,022
Fehler(Lenkung)	Linear			
Nebenaufgabe		Linear	61,607	,000
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear		
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	3,895	,056
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear		

Deskriptive Statistik

Deskriptive Statistik

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung
IsoOhne	32	,71	,90	,8144	,04123
IsoMit	32	,45	,90	,7122	,07898
PosOhne	32	,75	,92	,8162	,04019
PosMit	32	,62	,84	,7652	,05497
Gültige Werte (Listenweise)	32				

Statistiken

		IsoOhne	IsoMit	PosOhne	PosMit
N	Gültig	32	32	32	32
	Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert		,8144	,7122	,8162	,7652
Median		,8060	,7190	,8110	,7765
Std.-Abweichung		,04123	,07898	,04019	,05497
Perzentile	25	,7965	,6680	,7905	,7220
	50	,8060	,7190	,8110	,7765
	75	,8243	,7568	,8233	,8208

Innersubjektfaktoren

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Abhängige Variable
1	1	IsoOhne
	2	IsoMit
2	1	PosOhne
	2	PosMit

Deskriptive Statistiken

	Mittelwert	Std.- Abweichung	N
IsoOhne	,8144	,04123	32
IsoMit	,7122	,07898	32
PosOhne	,8162	,04019	32
PosMit	,7652	,05497	32

Multivariate Tests^a

Effekt		Wert	F	Hypothese df
Lenkung	Pillai-Spur	,185	7,054 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,815	7,054 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,228	7,054 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,228	7,054 ^b	1,000
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,679	65,675 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,321	65,675 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	2,119	65,675 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	2,119	65,675 ^b	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,184	6,987 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,816	6,987 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,225	6,987 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,225	6,987 ^b	1,000

Multivariate Tests^a

Effekt		Fehler df	Sig.
Lenkung	Pillai-Spur	31,000	,012
	Wilks-Lambda	31,000	,012
	Hotelling-Spur	31,000	,012
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,012
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,000
	Wilks-Lambda	31,000	,000
	Hotelling-Spur	31,000	,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,013
	Wilks-Lambda	31,000	,013
	Hotelling-Spur	31,000	,013
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,013

a. Design: Konstanter Term

Innersubjektdesign: Lenkung + Nebenaufgabe + Lenkung * Nebenaufgabe

b. Exakte Statistik

Geschätzte Randmittel

1. Lenkung

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	,763	,008	,746	,781
2	,791	,006	,779	,802

2. Nebenaufgabe

Maß: MEASURE_1

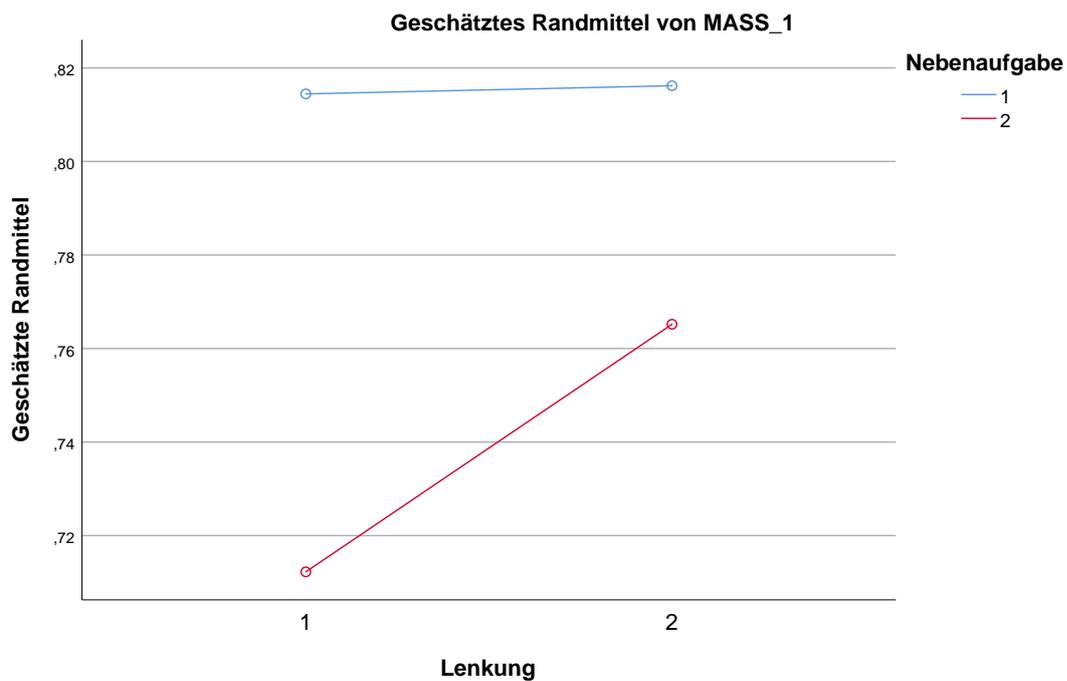
Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	,815	,004	,806	,824
2	,739	,009	,721	,757

3. Lenkung * Nebenaufgabe

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
1	1	,814	,007	,800	,829
	2	,712	,014	,684	,741
2	1	,816	,007	,802	,831
	2	,765	,010	,745	,785

Profildiagramm



Univariat

[DataSet3] C:\Users\ge54yen\Documents\Dissertation\Statistik\Studie2\Levene_MittelwertLenkmoment.sav

Einfaktorielle ANOVA

MittelwertLenkmo

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	,233	3	,078	24,667	,000
Innerhalb der Gruppen	,390	124	,003		
Gesamt	,622	127			

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Der Median der Differenzen zwischen IsoOhne und PosOhne ist gleich 0.	Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben	,993	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Der Median der Differenzen zwischen PosMit und IsoMit ist gleich 0.	Wilcoxon-Vorzeichenrangtest bei verbundenen Stichproben	,004	Nullhypothese ablehnen

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Häufigkeiten

Statistiken

		GutStabilisieren_Codiert	LeichtZuHandhaben_Codiert	LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	LeichteGewöhnung_Codiert
N	Gültig	32	32	32	32
	Fehlend	0	0	0	0
Schiefe		-,182	,377	,398	-,349
Standardfehler der Schiefe		,414	,414	,414	,414
Kurtosis		-,890	-,117	-,304	-,990
Standardfehler der Kurtosis		,809	,809	,809	,809

Statistiken

		LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert
N	Gültig	32	32
	Fehlend	0	0
Schiefe		-,034	,423
Standardfehler der Schiefe		,414	,414
Kurtosis		-,171	-,736
Standardfehler der Kurtosis		,809	,809

Häufigkeitstabelle

GutStabilisieren_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	6	18,8	18,8	18,8
	2,00	16	50,0	50,0	68,8
	3,00	10	31,3	31,3	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

LeichtZuHandhaben_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	6	18,8	18,8	18,8
	2,00	16	50,0	50,0	68,8
	3,00	8	25,0	25,0	93,8
	4,00	2	6,3	6,3	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	2	6,3	6,3	6,3
	2,00	16	50,0	50,0	56,3
	3,00	10	31,3	31,3	87,5
	4,00	4	12,5	12,5	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

LeichteGewöhnung_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	7	21,9	21,9	21,9
	2,00	9	28,1	28,1	50,0
	3,00	15	46,9	46,9	96,9
	4,00	1	3,1	3,1	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	5	15,6	15,6	15,6
	2,00	20	62,5	62,5	78,1
	3,00	7	21,9	21,9	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	1,00	13	40,6	40,6	40,6
	2,00	15	46,9	46,9	87,5
	3,00	4	12,5	12,5	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

Lenkungen

Verarbeitete Fälle

	Lenkungen	Fälle				Gesamt N
		Gültig		Fehlend		
		N	Prozent	N	Prozent	
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	32	100,0%	0	0,0%	32
	Position	32	100,0%	0	0,0%	32

Verarbeitete Fälle

	Lenkungen	Fälle
		Gesamt Prozent
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	100,0%
	Position	100,0%

Deskriptive Statistik

		Lenkungen	Statistik			
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	Mittelwert	2,13			
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,87		
			Obergrenze	2,38		
		5% getrimmtes Mittel	2,14			
		Median	2,00			
		Varianz	,500			
		Std.-Abweichung	,707			
		Minimum	1			
		Maximum	3			
		Spannweite	2			
		Interquartilbereich	1			
		Schiefe	-,182			
		Kurtosis	-,890			
		Position	Isometri	Mittelwert	2,41	
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,13
					Obergrenze	2,68
				5% getrimmtes Mittel	2,40	
				Median	2,00	
				Varianz	,572	
Std.-Abweichung	,756					
Minimum	1					
Maximum	4					
Spannweite	3					
Interquartilbereich	1					
Schiefe	,578					
Kurtosis	,136					
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri			Mittelwert	2,19	
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,89
					Obergrenze	2,48
				5% getrimmtes Mittel	2,15	
				Median	2,00	
				Varianz	,673	
		Std.-Abweichung	,821			
		Minimum	1			
		Maximum	4			
		Spannweite	3			
		Interquartilbereich	1			
		Schiefe	,377			
		Kurtosis	-,117			

Deskriptive Statistik

		Lenkungen	Std.-Fehler
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	Mittelwert	,125
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	
			Untergrenze
			Obergrenze
		5% getrimmtes Mittel	
		Median	
		Varianz	
		Std.-Abweichung	
		Minimum	
		Maximum	
		Spannweite	
		Interquartilbereich	
		Schiefe	,414
	Kurtosis	,809	
	Position	Mittelwert	,134
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	
		Untergrenze	
		Obergrenze	
		5% getrimmtes Mittel	
		Median	
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri	Mittelwert	,145
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	
			Untergrenze
			Obergrenze
		5% getrimmtes Mittel	
		Median	
		Varianz	
		Std.-Abweichung	
		Minimum	
		Maximum	
		Spannweite	
		Interquartilbereich	
			Schiefe
	Kurtosis	,809	

Deskriptive Statistik

Lenkungen		Statistik	
Position	Mittelwert		2,38
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,10
		Obergrenze	2,65
	5% getrimmtes Mittel		2,38
	Median		2,00
	Varianz		,565
	Std.-Abweichung		,751
	Minimum		1
	Maximum		4
	Spannweite		3
	Interquartilbereich		1
	Schiefe		-,274
	Kurtosis		-,406
	LenkungWieBeiEinemMotor rad_Codiert	Isometri	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	2,79
5% getrimmtes Mittel			2,50
Median			2,00
Varianz			,645
Std.-Abweichung			,803
Minimum			1
Maximum			4
Spannweite			3
Interquartilbereich			1
Schiefe			,398
Kurtosis			-,304
Position		Mittelwert	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,58
		Obergrenze	3,10
	5% getrimmtes Mittel		2,86
	Median		3,00
	Varianz		,523
	Std.-Abweichung		,723
	Minimum		1
	Maximum		4
	Spannweite		3
	Interquartilbereich		1
	Schiefe		-,298
	Kurtosis		,199

Deskriptive Statistik

Lenkungen		Std.-Fehler	
Position	Mittelwert	,133	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	
	LenkungWieBeiEinemMotor rad_Codiert	Isometri	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	
5% getrimmtes Mittel			
Median			
Varianz			
Std.-Abweichung			
Minimum			
Maximum			
Spannweite			
Interquartilbereich			
Schiefe		,414	
Kurtosis		,809	
Position		Mittelwert	,128
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	

Deskriptive Statistik

Lenkungen		Statistik				
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	Mittelwert	2,31			
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,00		
			Obergrenze	2,62		
		5% getrimmtes Mittel	2,31			
		Median	2,50			
		Varianz	,738			
		Std.-Abweichung	,859			
		Minimum	1			
		Maximum	4			
		Spannweite	3			
		Interquartilbereich	1			
		Schiefe	-,349			
		Kurtosis	-,990			
		Position	Isometri	Mittelwert	2,47	
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,21
					Obergrenze	2,73
				5% getrimmtes Mittel	2,49	
				Median	3,00	
				Varianz	,515	
Std.-Abweichung	,718					
Minimum	1					
Maximum	4					
Spannweite	3					
Interquartilbereich	1					
Schiefe	-,442					
Kurtosis	-,169					
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Isometri			Mittelwert	2,06	
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,84
					Obergrenze	2,29
				5% getrimmtes Mittel	2,07	
				Median	2,00	
				Varianz	,383	
		Std.-Abweichung	,619			
		Minimum	1			
		Maximum	3			
		Spannweite	2			
		Interquartilbereich	0			
		Schiefe	-,034			
		Kurtosis	-,171			

Deskriptive Statistik

		Lenkungen	Std.-Fehler		
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	Mittelwert	,152		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		
			Obergrenze		
		5% getrimmtes Mittel			
		Median			
		Varianz			
		Std.-Abweichung			
		Minimum			
		Maximum			
		Spannweite			
		Interquartilbereich			
		Schiefe	,414		
		Kurtosis	,809		
	Position	Mittelwert	,127		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		
			Obergrenze		
		5% getrimmtes Mittel			
		Median			
		Varianz			
Std.-Abweichung					
Minimum					
Maximum					
Spannweite					
Interquartilbereich					
Schiefe		,414			
Kurtosis		,809			
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert		Isometri	Mittelwert	,109	
			95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
				Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel				
	Median				
	Varianz				
	Std.-Abweichung				
	Minimum				
	Maximum				
	Spannweite				
	Interquartilbereich				
	Schiefe		,414		
	Kurtosis		,809		

Deskriptive Statistik

Lenkungen		Statistik	
Position	Mittelwert		2,34
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,09
		Obergrenze	2,60
	5% getrimmtes Mittel		2,35
	Median		2,00
	Varianz		,491
	Std.-Abweichung		,701
	Minimum		1
	Maximum		4
	Spannweite		3
	Interquartilbereich		1
	Schiefe		,001
	Kurtosis		-,104
	FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	1,97
5% getrimmtes Mittel			1,69
Median			2,00
Varianz			,467
Std.-Abweichung			,683
Minimum			1
Maximum			3
Spannweite			2
Interquartilbereich			1
Schiefe			,423
Kurtosis			-,736
Position		Mittelwert	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,57
		Obergrenze	2,12
	5% getrimmtes Mittel		1,79
	Median		2,00
	Varianz		,588
	Std.-Abweichung		,767
	Minimum		1
	Maximum		4
	Spannweite		3
	Interquartilbereich		1
	Schiefe		,738
	Kurtosis		,580

Deskriptive Statistik

Lenkungen		Std.-Fehler	
Position	Mittelwert	,124	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	
	FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	
5% getrimmtes Mittel			
Median			
Varianz			
Std.-Abweichung			
Minimum			
Maximum			
Spannweite			
Interquartilbereich			
Schiefe		,414	
Kurtosis		,809	
Position		Mittelwert	,136
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	

Tests auf Normalverteilung

	Lenkungen	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk	
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	,258	32	,000	,804	32
	Position	,329	32	,000	,817	32
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri	,278	32	,000	,859	32
	Position	,266	32	,000	,838	32
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Isometri	,296	32	,000	,842	32
	Position	,304	32	,000	,834	32
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	,288	32	,000	,823	32
	Position	,302	32	,000	,818	32
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Isometri	,321	32	,000	,774	32
	Position	,282	32	,000	,832	32
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	,260	32	,000	,783	32
	Position	,263	32	,000	,814	32

Tests auf Normalverteilung

	Lenkungen	Shapiro-Wilk
		Signifikanz
GutStabilisieren_Codiert	Isometri	,000
	Position	,000
LeichtZuHandhaben_Codiert	Isometri	,001
	Position	,000
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Isometri	,000
	Position	,000
LeichteGewöhnung_Codiert	Isometri	,000
	Position	,000
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Isometri	,000
	Position	,000
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Isometri	,000
	Position	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Univariat

ONEWAY deskriptive Statistiken

		N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Std.-Fehler
GutStabilisieren_Codiert	1,00	32	2,13	,707	,125
	2,00	32	2,41	,756	,134
	Gesamt	64	2,27	,740	,092
LeichtZuHandhaben_Codiert	1,00	32	2,19	,821	,145
	2,00	32	2,38	,751	,133
	Gesamt	64	2,28	,786	,098
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	1,00	32	2,50	,803	,142
	2,00	32	2,84	,723	,128
	Gesamt	64	2,67	,778	,097
LeichteGewöhnung_Codiert	1,00	32	2,31	,859	,152
	2,00	32	2,47	,718	,127
	Gesamt	64	2,39	,789	,099
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	1,00	32	2,06	,619	,109
	2,00	32	2,34	,701	,124
	Gesamt	64	2,20	,671	,084
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	1,00	32	1,72	,683	,121
	2,00	32	1,84	,767	,136
	Gesamt	64	1,78	,723	,090

ONEWAY deskriptive Statistiken

		95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert		Minimum	Maximum
		Untergrenze	Obergrenze		
GutStabilisieren_Codiert	1,00	1,87	2,38	1	3
	2,00	2,13	2,68	1	4
	Gesamt	2,08	2,45	1	4
LeichtZuHandhaben_Codiert	1,00	1,89	2,48	1	4
	2,00	2,10	2,65	1	4
	Gesamt	2,08	2,48	1	4
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	1,00	2,21	2,79	1	4
	2,00	2,58	3,10	1	4
	Gesamt	2,48	2,87	1	4
LeichteGewöhnung_Codiert	1,00	2,00	2,62	1	4
	2,00	2,21	2,73	1	4
	Gesamt	2,19	2,59	1	4
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	1,00	1,84	2,29	1	3
	2,00	2,09	2,60	1	4
	Gesamt	2,04	2,37	1	4
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	1,00	1,47	1,97	1	3
	2,00	1,57	2,12	1	4
	Gesamt	1,60	1,96	1	4

Test der Homogenität der Varianzen

		Levene-Statistik	df1	df2
GutStabilisieren_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,676	1	62
	Basiert auf dem Median	,044	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,044	1	57,738
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,562	1	62
LeichtZuHandhaben_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,020	1	62
	Basiert auf dem Median	,181	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,181	1	61,244
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,066	1	62
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	1,891	1	62
	Basiert auf dem Median	,951	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,951	1	59,207
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	2,041	1	62
LeichteGewöhnung_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	1,817	1	62
	Basiert auf dem Median	1,228	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	1,228	1	53,762
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	1,837	1	62
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	3,298	1	62
	Basiert auf dem Median	1,386	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	1,386	1	60,786
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	3,223	1	62
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,001	1	62
	Basiert auf dem Median	,000	1	62
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,000	1	61,239
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,004	1	62

Test der Homogenität der Varianzen

		Signifikanz
GutStabilisieren_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,414
	Basiert auf dem Median	,834
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,834
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,456
LeichtZuHandhaben_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,888
	Basiert auf dem Median	,672
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,672
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,798
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,174
	Basiert auf dem Median	,333
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,333
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,158
LeichteGewöhnung_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,183
	Basiert auf dem Median	,272
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,273
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,180
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,074
	Basiert auf dem Median	,244
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	,244
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,077
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Basiert auf dem Mittelwert	,971
	Basiert auf dem Median	1,000
	Basierend auf dem Median und mit angepaßten df	1,000
	Basiert auf dem getrimmten Mittel	,949

Einfaktorielle ANOVA

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate
GutStabilisieren_Codiert	Zwischen den Gruppen	1,266	1	1,266
	Innerhalb der Gruppen	33,219	62	,536
	Gesamt	34,484	63	
LeichtZuHandhaben_Codiert	Zwischen den Gruppen	,563	1	,563
	Innerhalb der Gruppen	38,375	62	,619
	Gesamt	38,938	63	
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Zwischen den Gruppen	1,891	1	1,891
	Innerhalb der Gruppen	36,219	62	,584
	Gesamt	38,109	63	
LeichteGewöhnung_Codiert	Zwischen den Gruppen	,391	1	,391
	Innerhalb der Gruppen	38,844	62	,627
	Gesamt	39,234	63	
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Zwischen den Gruppen	1,266	1	1,266
	Innerhalb der Gruppen	27,094	62	,437
	Gesamt	28,359	63	
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Zwischen den Gruppen	,250	1	,250
	Innerhalb der Gruppen	32,688	62	,527
	Gesamt	32,938	63	

Einfaktorielle ANOVA

		F	Signifikanz
GutStabilisieren_Codiert	Zwischen den Gruppen	2,362	,129
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		
LeichtZuHandhaben_Codiert	Zwischen den Gruppen	,909	,344
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Zwischen den Gruppen	3,236	,077
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		
LeichteGewöhnung_Codiert	Zwischen den Gruppen	,623	,433
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Zwischen den Gruppen	2,896	,094
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Zwischen den Gruppen	,474	,494
	Innerhalb der Gruppen		
	Gesamt		

Robuste Testverfahren zur Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte

		Statistik ^a	df1	df2	Sig.
GutStabilisieren_Codiert	Welch-Test	2,362	1	61,725	,129
LeichtZuHandhaben_Codiert	Welch-Test	,909	1	61,524	,344
LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert	Welch-Test	3,236	1	61,332	,077
LeichteGewöhnung_Codiert	Welch-Test	,623	1	60,100	,433
LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert	Welch-Test	2,896	1	61,070	,094
FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert	Welch-Test	,474	1	61,195	,494

a. Asymptotisch F-verteilt

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von GutStabilisieren_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,208	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von LeichtZuHandhaben_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,266	Nullhypothese beibehalten
3	Die Verteilung von LenkungWieBeiEinemMotorrad_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,054	Nullhypothese beibehalten
4	Die Verteilung von FahraufgabeLeichtZuErfüllen_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,561	Nullhypothese beibehalten
5	Die Verteilung von LeichteGewöhnung_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,521	Nullhypothese beibehalten
6	Die Verteilung von LeichtAufEinemGeradebKurs_Codiert ist über die Kategorien von LenkungHilfsvariable identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,099	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Allgemeines Lineares Modell

Innersubjektfaktoren

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Nebenaufgabe	Abhängige Variable
1	1	IsoOhne
	2	IsoMit
2	1	PosOhne
	2	PosMit

Multivariate Tests^a

Effekt		Wert	F	Hypothese df
Lenkung	Pillai-Spur	,000	,007 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	1,000	,007 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,000	,007 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,000	,007 ^b	1,000
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,037	1,198 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,963	1,198 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,039	1,198 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,039	1,198 ^b	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	,013	,402 ^b	1,000
	Wilks-Lambda	,987	,402 ^b	1,000
	Hotelling-Spur	,013	,402 ^b	1,000
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	,013	,402 ^b	1,000

Multivariate Tests^a

Effekt		Fehler df	Sig.
Lenkung	Pillai-Spur	31,000	,933
	Wilks-Lambda	31,000	,933
	Hotelling-Spur	31,000	,933
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,933
Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,282
	Wilks-Lambda	31,000	,282
	Hotelling-Spur	31,000	,282
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,282
Lenkung * Nebenaufgabe	Pillai-Spur	31,000	,530
	Wilks-Lambda	31,000	,530
	Hotelling-Spur	31,000	,530
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	31,000	,530

a. Design: Konstanter Term

Innersubjektdesign: Lenkung + Nebenaufgabe + Lenkung * Nebenaufgabe

b. Exakte Statistik

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Mauchly-W	Approx. Chi-Quadrat	df	Sig.	Epsilon Greenhouse-Geisser
Lenkung	1,000	,000	0	.	1,000
Nebenaufgabe	1,000	,000	0	.	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	1,000	,000	0	.	1,000

Mauchly-Test auf Sphärizität

Maß: MEASURE_1

Innersubjekteffekt	Epsilon	
	Huynh-Feldt	Untergrenze
Lenkung	1,000	1,000
Nebenaufgabe	1,000	1,000
Lenkung * Nebenaufgabe	1,000	1,000

Prüft die Nullhypothese, daß sich die Fehlerkovarianz-Matrix der orthonormalisierten transformierten abhängigen Variablen proportional zur Einheitsmatrix verhält.

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate
Lenkung	Sphärizität angenommen	1,556E-6	1	1,556E-6
	Greenhouse-Geisser	1,556E-6	1,000	1,556E-6
	Huynh-Feldt	1,556E-6	1,000	1,556E-6
	Untergrenze	1,556E-6	1,000	1,556E-6
Fehler(Lenkung)	Sphärizität angenommen	,007	31	,000
	Greenhouse-Geisser	,007	31,000	,000
	Huynh-Feldt	,007	31,000	,000
	Untergrenze	,007	31,000	,000
Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	,000	1	,000
	Greenhouse-Geisser	,000	1,000	,000
	Huynh-Feldt	,000	1,000	,000
	Untergrenze	,000	1,000	,000
Fehler(Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen	,004	31	,000
	Greenhouse-Geisser	,004	31,000	,000
	Huynh-Feldt	,004	31,000	,000
	Untergrenze	,004	31,000	,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	5,382E-5	1	5,382E-5
	Greenhouse-Geisser	5,382E-5	1,000	5,382E-5
	Huynh-Feldt	5,382E-5	1,000	5,382E-5
	Untergrenze	5,382E-5	1,000	5,382E-5
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen	,004	31	,000
	Greenhouse-Geisser	,004	31,000	,000
	Huynh-Feldt	,004	31,000	,000
	Untergrenze	,004	31,000	,000

Tests der Innersubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Quelle		F	Sig.
Lenkung	Sphärizität angenommen	,007	,933
	Greenhouse-Geisser	,007	,933
	Huynh-Feldt	,007	,933
	Untergrenze	,007	,933
Fehler(Lenkung)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		
Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	1,198	,282
	Greenhouse-Geisser	1,198	,282
	Huynh-Feldt	1,198	,282
	Untergrenze	1,198	,282
Fehler(Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		
Lenkung * Nebenaufgabe	Sphärizität angenommen	,402	,530
	Greenhouse-Geisser	,402	,530
	Huynh-Feldt	,402	,530
	Untergrenze	,402	,530
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Sphärizität angenommen		
	Greenhouse-Geisser		
	Huynh-Feldt		
	Untergrenze		

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate
Lenkung	Linear		1,556E-6	1	1,556E-6
Fehler(Lenkung)	Linear		,007	31	,000
Nebenaufgabe		Linear	,000	1	,000
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear	,004	31	,000
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	5,382E-5	1	5,382E-5
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear	,004	31	,000

Tests der Innersubjektkontraste

Maß: MEASURE_1

Quelle	Lenkung	Nebenaufgabe	F	Sig.
Lenkung	Linear		,007	,933
Fehler(Lenkung)	Linear			
Nebenaufgabe		Linear	1,198	,282
Fehler(Nebenaufgabe)		Linear		
Lenkung * Nebenaufgabe	Linear	Linear	,402	,530
Fehler (Lenkung*Nebenaufgabe)	Linear	Linear		

Tests der Zwischensubjekteffekte

Maß: MEASURE_1

Transformierte Variable: Mittel

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Konstanter Term	,005	1	,005	23,850	,000
Fehler	,007	31	,000		

Geschätzte Randmittel

1. Lenkung

Maß: MEASURE_1

Lenkung	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	-,006	,002	-,010	-,002
2	-,006	,002	-,010	-,003

2. Nebenaufgabe

Maß: MEASURE_1

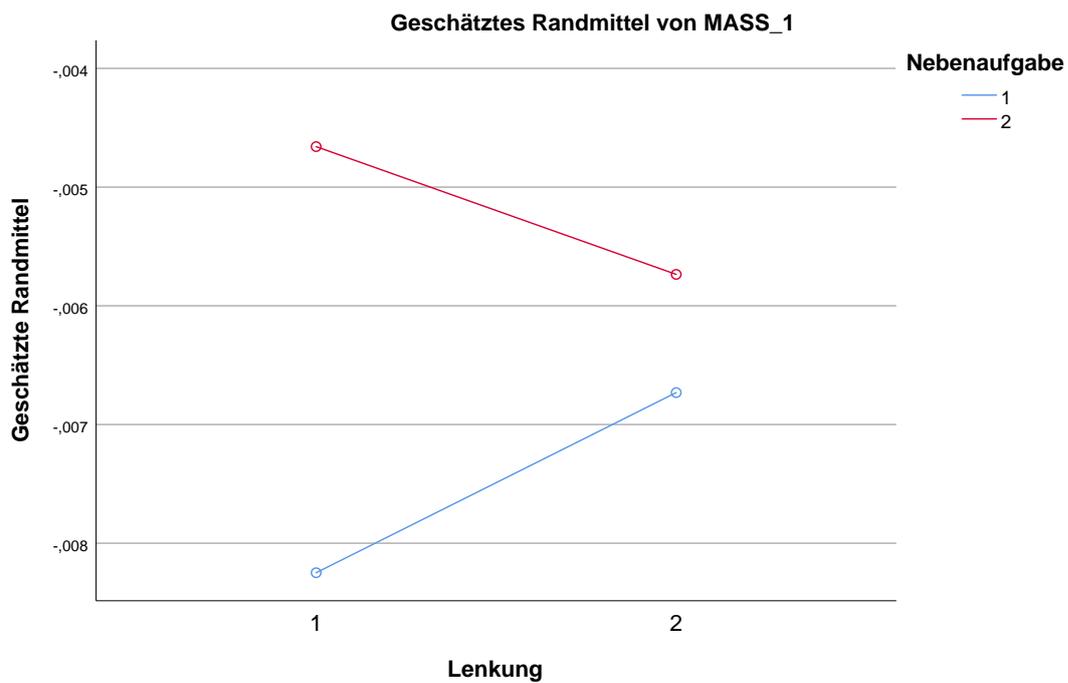
Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
			Untergrenze	Obergrenze
1	-,007	,001	-,010	-,005
2	-,005	,002	-,009	-,001

3. Lenkung * Nebenaufgabe

Maß: MEASURE_1

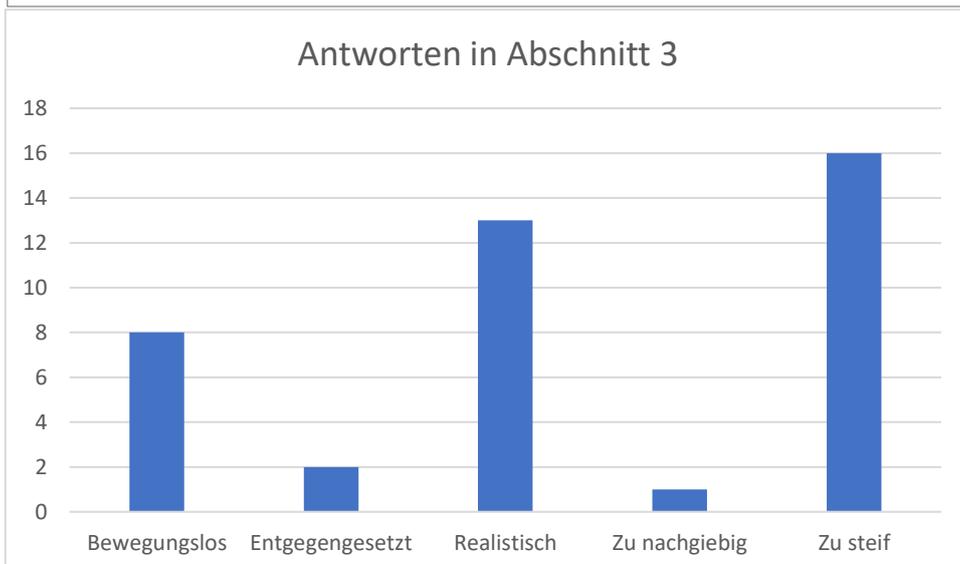
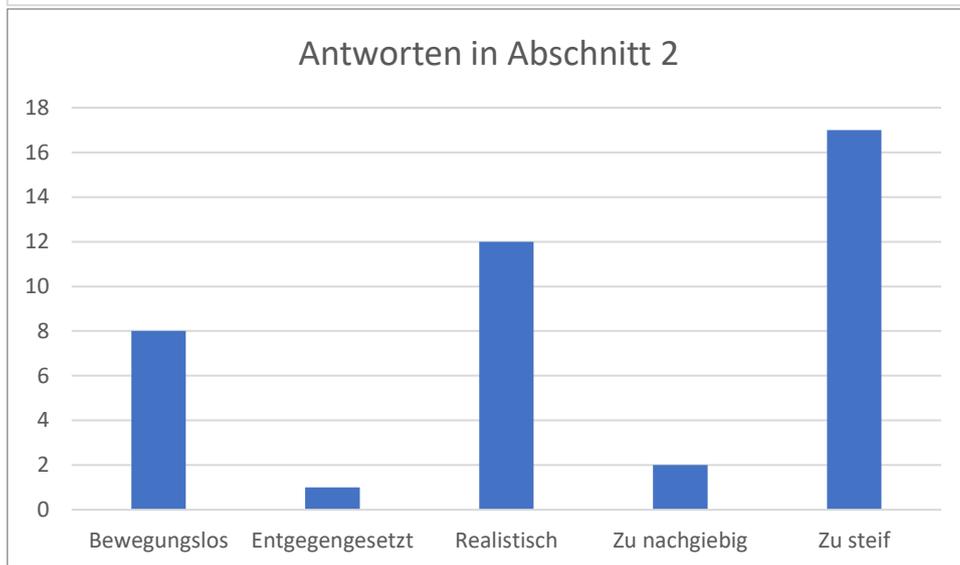
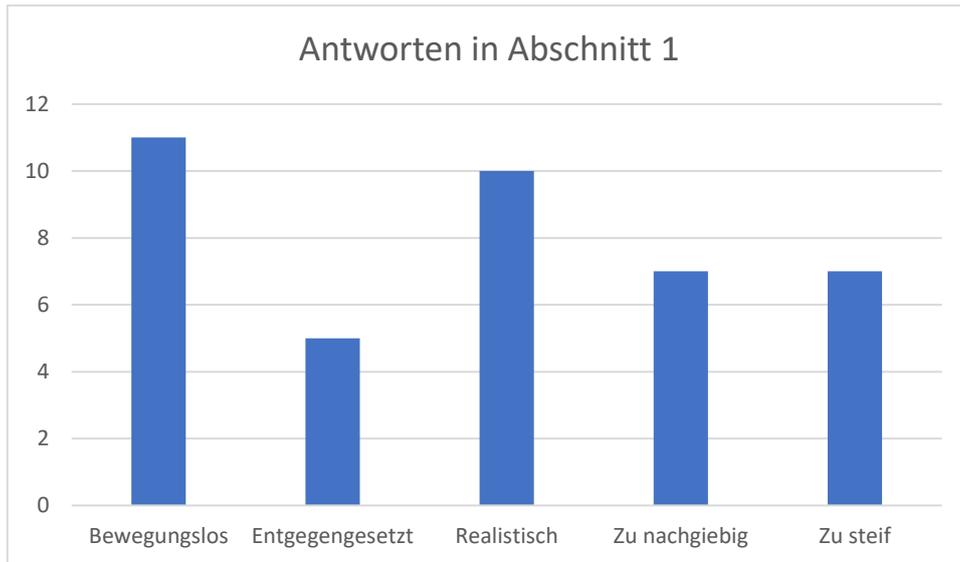
Lenkung	Nebenaufgabe	Mittelwert	Standard Fehler	95%-Konfidenzintervall	
				Untergrenze	Obergrenze
1	1	-,008	,002	-,012	-,004
	2	-,005	,003	-,010	,001
2	1	-,007	,002	-,011	-,003
	2	-,006	,003	-,011	-,001

Profildiagramm



Sekundäre Betrachtung

Teilneh.	Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 3	
1	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
2	Entgegengesetzt	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Bewegungslos	Entgegengesetzt
3	Realistisch	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
4	Realistisch	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
5	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
6	Zu nachgiebig	Positions.	Realistisch	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
7	Bewegungslos	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Bewegungslos	Entgegengesetzt
8	Zu nachgiebig	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
9	Entgegengesetzt	Positions.	Entgegengesetzt	Isometrisch	Entgegengesetzt	Entgegengesetzt
10	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
11	Zu nachgiebig	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Bewegungslos	Entgegengesetzt
12	Zu nachgiebig	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
13	Realistisch	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
14	Realistisch	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
15	Entgegengesetzt	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
16	Realistisch	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Bewegungslos	Entgegengesetzt
17	Bewegungslos	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
18	Realistisch	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
19	Entgegengesetzt	Isometrisch	Bewegungslos	Positions.	Entgegengesetzt	Entgegengesetzt
20	Zu steif	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Bewegungslos	Entgegengesetzt
21	Zu nachgiebig	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Zu nachgiebig	Entgegengesetzt
22	Bewegungslos	Isometrisch	Zu nachgiebig	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
23	Realistisch	Positions.	Realistisch	Isometrisch	Bewegungslos	Entgegengesetzt
24	Bewegungslos	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
25	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
26	Bewegungslos	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Bewegungslos	Entgegengesetzt
27	Realistisch	Isometrisch	Zu nachgiebig	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
28	Zu steif	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
29	Realistisch	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
30	Zu nachgiebig	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Bewegungslos	Entgegengesetzt
31	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
32	Bewegungslos	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
33	Zu steif	Positions.	Zu steif	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
34	Zu steif	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Zu steif	Entgegengesetzt
35	Entgegengesetzt	Positions.	Bewegungslos	Isometrisch	Realistisch	Entgegengesetzt
36	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
37	Zu nachgiebig	Isometrisch	Realistisch	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt
38	Zu steif	Positions.	Realistisch	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
39	Realistisch	Positions.	Realistisch	Isometrisch	Zu steif	Entgegengesetzt
40	Bewegungslos	Isometrisch	Zu steif	Positions.	Realistisch	Entgegengesetzt



Teilneh.	Frage: Welche/r Abschnitt/e waren gleich: gleiche Abschnitte?	Welche/r Abschnitt/e war/en unterschiedlich im Vergleich zu den anderen: unterschiedliche Abschnitte?
1	Abschnitt 2 & 3	alle waren unterschiedlich
2	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
3	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
4	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
5	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
6	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
7	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
8	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
9	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
10	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
11	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
12	Abschnitt 1 & 2	Abschnitt 2
13	alle waren gleich	keiner war unterschiedlich
14	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
15	alle waren gleich	keiner war unterschiedlich
16	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
17	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
18	alle waren gleich	keiner war unterschiedlich
19	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
20	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
21	Abschnitt 1 & 2	Abschnitt 3
22	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
23	Abschnitt 1 & 2	Abschnitt 3
24	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
25	keiner war gleich	Abschnitt 2
26	alle waren gleich	keiner war unterschiedlich
27	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
28	Abschnitt 2 & 3	alle waren unterschiedlich
29	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
30	keiner war gleich	alle waren unterschiedlich
31	Abschnitt 1 & 3	Abschnitt 2
32	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
33	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
34	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
35	Abschnitt 1 & 2	Abschnitt 3
36	Abschnitt 1 & 2	Abschnitt 1
37	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
38	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1
39	alle waren gleich	keiner war unterschiedlich
40	Abschnitt 2 & 3	Abschnitt 1

D Anhang Studie 3

Leitfaden Bewegungskonzepte (KW 39-41 2021)

Übungsfahrt | Zwischenbefragung | Messfahrten | Zwischenbefragungen | Nachbefragung

Version: 1.5

16.09.2021

VP-Nr.: _____

Datum: _____

Uhrzeit: _____

Versuchsleiter 1 (Moderation): _____

Versuchsleiter 2 (Bedienung): _____

Bedingungen Modalitäten

- a. Statischer Versuch/ Konzept A
- b. Dynamischer Versuch/ Bewegungskonzept B

Szenarien und deren Reihenfolge (nicht permutiert)

- A. Spurwechsel
- B. Trajektorienfolge

Rotation (ggf. Plus Rotation Konzept A):

1 **A-->** **B-->**

2 **B-->** **A-->**

1. Übungsfahrt MIT Stabilisierung

10 min

<< Dynamik MIT Stabilisierung starten, Aschheim, Plattform hochfahren >>

Ich fahre die Plattform hoch, das wird heute immer dann passieren, wenn Sie auf das Motorrad steigen.

*Wir beginnen mit der ersten Übungsfahrt, bei der Sie ein Gefühl für das Motorrad entwickeln sollen. Sie befinden sich gleich auf einer freien Strecke und fahren bereits mit **einer Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h**. Versuchen Sie die Geschwindigkeit zu halten oder leicht zu Beschleunigen. Fahren Sie bitte **nicht schneller als 150km/h**.*

Beim Lenken denken Sie an das Prinzip Gegenlenken. Um nach rechts zu fahren, müssen Sie nach links lenken und andersrum. Versuchen Sie zu Beginn geradeaus zu Fahren und anschließend vorsichtig die Fahrstreifen zu wechseln. Ziel ist es, ein Gefühl für die Lenkung zu entwickeln.

Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform wird sich nicht bewegen. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

Mögliche Hinweise:

- Sehr vorsichtig lenken, wenig Kraft
- Ggf. mit einer Hand probieren

Vielen Dank! An der Stelle beende ich die Simulation. Dazu können Sie einfach konstant geradeaus fahren.

<< Weste AUS, Simulation beenden >>

RALI - Fahrt

2 min

<< Dynamik MIT Stabilisierung starten, Startpunkt RALI wählen >>

Als nächstes geht es um eine ca. 1-minütige Geradeausfahrt auf 2-spurigen Strecke. Bleiben Sie nach Möglichkeit in der Mitte des rechten Fahrstreifens und halten Sie die Geschwindigkeit von 80 km/h.

Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform wird sich nicht bewegen. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

Ok, an der Stelle beende ich die Simulation.

<< Weste AUS, Simulation beenden >>

Zwischenbefragung nach RALI	2 min
<p>Sie können die Handschuhe ausziehen und sich das Tablet zur Hand nehmen. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.</p> <p>Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon <input type="radio"/> „Erstbefragung“</p> <p>Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen und Ihre Handschuhe wieder anziehen.</p>	

2. Übungsfahrt OHNE Stabilisierung für erstes Konzept A	4 min
<p><< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim >></p> <p>Als nächstes folgt nochmal eine Übungsfahrt auf der gleichen Strecke, bei der Sie das Fahrzeug besser kennenlernen sollen.</p> <p>Sie starten mit einer Startgeschwindigkeit von ca. 100km/h. Versuchen Sie die Geschwindigkeit zu halten oder leicht zu Beschleunigen. Versuchen Sie kontrollierte Spurwechsel auszuführen und die Kurve möglichst konstant zu durchfahren. Ziel ist es das Gefühl für die Lenkung zu verbessern.</p> <p>Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform wird sich nicht bewegen. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.</p> <p><< Anzahl Stürze notieren >></p> <p>Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)</p> <p><< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >></p> <p>Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)</p> <p>Versuchen Sie die Bremse kennenzulernen.</p>	

Ende 2. Übungsfahrt	
<p>Ok, nachdem Sie das Motorrad kennengelernt haben, stoppe ich die Simulation und bereite die Messfahrten vor. Sie dürfen gern auf dem Motorrad sitzen bleiben.</p> <p>Fühlen Sie sich gut?</p>	

1 Messreihe 1 – Konzept A (statisch)**Beginn max. 00:40 | Dauer 20 min****1. Messfahrt – Spurwechsel****4 min**<< **Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim** >>

Beim ersten Versuch sollen Sie zunächst das Szenario Spurwechsel kennenlernen. Erst danach beginnt die eigentliche Messfahrt.

Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die **Geschwindigkeit nicht selbst regeln**. Bleiben Sie bitte zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**, da dort der erste Spurwechsel beginnt.

Ziel ist es die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen, da der nächste Spurwechsel von dort startet. Zwischen den Spurwechseln befinden sich **rot-weiße Markierungen auf dem Boden, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation.

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): ____ (Zahl eintragen)

 Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Geählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)**Beobachtungen Querführung:**

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< **Weste AUS, Simulation beenden** >>

2. Messfahrt – Trajektorienfolge

5 min

<< **Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim** >>

Im nächsten Szenario sollen Sie die Trajektorienfolge zunächst kennenlernen.

Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie während des gesamten Versuchs **möglichst mittig durchfahren** sollen. Schneiden Sie bitte nicht die Kurve

Die **Startgeschwindigkeit von 80km/h** wird wieder **selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

Ich starte jetzt die Simulation. Wie fühlen Sie sich?

<< **Anzahl Stürze notieren (max. 4, danach zum nächsten Szenario springen)** >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 4): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation.

<< **Weste AUS, Simulation beenden, Plattform runterfahren** >>

Ich komme zu Ihnen rüber und entferne die Seilzüge. Danach geht es mit einem neuen Streckenabschnitt weiter.

<< **VL 1 in Simulator wechseln, Seilzüge entfernen** >>

<< **VL 2 Simulation Heimhausen initialisieren** >>

Dann dürfen Sie wieder auf das Motorrad steigen und befestige die Seilzüge. Sie hören mich gleich wieder über die Gegensprechanlage.

<< **VL 1 Seilzüge befestigen, in Leitstand wechseln** >>

Zwischenbefragung nach der 1. Messreihe**3 min**

Sie können die Handschuhe ausziehen und bitte sich das Tablet zur Hand nehmen. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.

<< VL 2 Simulation Aschheim initialisieren, Plattform aktiv >>

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „Zwischenbefragung“
- Wählen Sie unter Konzept „A“ aus.

Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen, Ihre Handschuhe wieder anziehen und wieder auf das Motorrad steigen. Ich befestige die Seilzüge. Sie hören mich gleich wieder über die Gegensprechanlage.

<< VL 1 Seilzüge befestigen, in Leitstand wechseln >>

2 Messreihe 2

Beginn max. 01:00 | Dauer 25 min

Konzept B O

Übungsfahrt OHNE Stabilisierung für zweites Konzept

5 min

<< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim, Plattform hochfahren >>

Ich fahre die Plattform hoch.

Als nächstes folgt eine Übungsfahrt mit aktivierter Bewegungsplattform. Die Strecke ist die gleiche vom Anfang des Versuchs.

*Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 100km/h**. Versuchen Sie die Geschwindigkeit zu halten oder leicht zu Beschleunigen. Versuchen Sie kontrollierte Spurwechsel auszuführen und die Kurve möglichst konstant zu durchfahren. Ziel ist es ein Gefühl für die Bewegung der Plattform zu entwickeln.*

Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform wird sich jetzt bewegen. Sollte Ihnen unwohl werden, melden Sie sich bitte bei mir.

<< Anzahl Stürze notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

<< Anzahl Verlassen der Fahrbahn notieren >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl: _____ (Zahl eintragen)

Ende Übungsfahrt

Ok, nachdem Sie das 1. Bewegungskonzept kennengelernt haben, stoppe ich die Simulation und bereite die Messfahrten vor. Sie dürfen gern auf dem Motorrad sitzen bleiben.

Fühlen Sie sich gut?

1. Messfahrt – Spurwechsel

4 min

<< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim >>

Es folgt der Spurwechsel. Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die **Geschwindigkeit nicht selbst regeln**. Bleiben Sie bitte zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**, da dort der erste Spurwechsel beginnt.

Ziel ist es die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen, da der nächste Spurwechsel von dort startet. Zwischen den Spurwechseln befinden sich **rot-weiße Markierungen auf dem Boden, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation. Wir fangen direkt mit der Messfahrt an.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Weste AUS, Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Trajektorienfolge

5 min

<< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim >>

Weiter geht es mit der Trajektorienfolge. Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie während des gesamten Versuchs **möglichst mittig durchfahren** sollen.

Die **Startgeschwindigkeit von 80km/h** wird wieder **selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

Ich starte jetzt die Simulation. Wir fangen direkt mit der Messfahrt an. Wie fühlen Sie sich?

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation.

<< Weste AUS, Simulation beenden, Plattform runterfahren >>

Ich komme zu Ihnen rüber und entferne die Seilzüge. Danach geht es mit einem neuen Streckenabschnitt weiter.

<< VL 1 in Simulator wechseln, Seilzüge entfernen >>

<< VL 2 Simulation Heimhausen initialisieren, Plattform aktiv >>

Dann dürfen Sie wieder auf das Motorrad steigen und befestige die Seilzüge. Sie hören mich gleich wieder über die Gegensprechanlage.

<< VL 1 Seilzüge befestigen, in Leitstand wechseln >>

Zwischenbefragung nach der 2. Messreihe**3 min**

Sie können die Handschuhe ausziehen und bitte sich das Tablet zur Hand nehmen. Als nächstes folgt eine kurze Zwischenbefragung.

<< VL 2 Simulation Aschheim initialisieren, >>

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

- „Zwischenbefragung“
- Wählen Sie unter Konzept „____“ aus.

Vielen Dank! Sie können das Tablet zurücklegen, Ihre Handschuhe wieder anziehen und wieder auf das Motorrad steigen. Ich befestige die Seilzüge. Sie hören mich gleich wieder über die Gegensprechanlage.

<< VL 1 Seilzüge befestigen, in Leitstand wechseln >>

1. Messfahrt – Spurwechsel

4 min

<< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim >>

Es folgt der Spurwechsel. Sie starten mit einer **Startgeschwindigkeit von ca. 80km/h** und müssen die **Geschwindigkeit nicht selbst regeln**. Bleiben Sie bitte zu Beginn **möglichst im rechten Fahrstreifen**, da dort der erste Spurwechsel beginnt.

Ziel ist es die Gassen möglichst mittig zwischen den Pylonen zu durchfahren. Zwischen den Gassen bleiben Sie bitte auf dem letzten Fahrstreifen, da der nächste Spurwechsel von dort startet. Zwischen den Spurwechseln befinden sich **rot-weiße Markierungen auf dem Boden, die Sie bitte ebenfalls möglichst mittig durchfahren sollen**. Insgesamt gibt es **8 aufeinanderfolgende Spurwechsel**

Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform ist aktiv.

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- in keiner Gasse eine Pylone berührt
- in einer Gasse eine Pylone berührt
- in mehreren Gassen eine Pylone berührt
- eine Gasse verlassen
- mehrere Gassen verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation. Bleiben Sie bitte auf dem Motorrad sitzen, es geht direkt weiter.

<< Weste AUS, Simulation beenden >>

2. Messfahrt – Trajektorienfolge

5 min

<< Dynamik OHNE Stabilisierung starten, Aschheim >>

Weiter geht es mit der Trajektorienfolge. Sie beginnen in einer **Pylonengasse**, die Sie während des gesamten Versuchs **möglichst mittig durchfahren** sollen.

Die **Startgeschwindigkeit von 80km/h** wird wieder **selbstständig vom Fahrzeug beibehalten**. Am Ende der Trajektorienfolge befindet sich eine **rot-weiße Markierung am Boden**, die Sie bitte möglichst mittig durchfahren.

Ich starte jetzt die Simulation. Die Plattform ist aktiv. Wie fühlen Sie sich?

<< Anzahl Stürze notieren (max. 3, danach zum nächsten Szenario springen) >>

Strichliste _____ Gesamtanzahl (max. 3): ____ (Zahl eintragen)

Szenario nicht erreicht, vorher gestürzt Gezählter Versuch: ____ (Zahl eintragen)

Beobachtungen Querführung:

- keine Pylone berührt
- einmalig eine Pylone berührt
- mehrere Pylonen berührt
- einmalig Gasse verlassen
- mehrmals Gasse verlassen
- Fahrbahn verlassen

Ok, Sie sind am Ende dieser Messfahrt angekommen und ich stoppe die Simulation.

<< Weste AUS, Simulation beenden, Plattform runterfahren >>

Ich komme zu Ihnen rüber und entferne die Seilzüge. Danach geht es mit einem neuen Streckenabschnitt weiter.

<< VL 1 in Simulator wechseln, Seilzüge entfernen >>

<< VL 2 Simulation Heimhausen initialisieren, Plattform aktiv >>

Dann dürfen Sie wieder auf das Motorrad steigen und befestige die Seilzüge. Sie hören mich gleich wieder über die Gegensprechanlage.

<< VL 1 Seilzüge befestigen, in Leitstand wechseln >>

Nachbefragung am Versuchsende**5 min**

Zum Abschluss folgt eine letzte Umfrage, die ich Sie bitten würde auszufüllen.

Entsperren Sie das Tablet und tippen Sie bitte auf das App-Icon

„Nachbefragung“

Vielen Dank! Das war's. Hat es Ihnen gefallen?

<< Abschlussgespräch und Probanden zum Ausgang begleiten >>

Explorative Datenanalyse

Gruppe

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Fälle				Gesamt N
		Gültig		Fehlend		
		N	Prozent	N	Prozent	
A_Schräglage_visuell	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32
A_Fahrspur	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32
A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Fälle
		Gesamt Prozent
A_Schräglage_visuell	1,00	100,0%
	2,00	100,0%
A_Fahrspur	1,00	100,0%
	2,00	100,0%
A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	100,0%
	2,00	100,0%

Deskriptive Statistik

	Gruppe			Statistik	
A_Schräglage_visuell	1,00	Mittelwert		4,3750	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,9287	
			Obergrenze	4,8213	
		5% getrimmtes Mittel		4,4514	
		Median		5,0000	
		Varianz		1,532	
		Std.-Abweichung		1,23784	
		Minimum		1,00	
		Maximum		6,00	
		Spannweite		5,00	
		Interquartilbereich		1,75	
		Schiefe		-1,109	
		Kurtosis		,605	
		2,00	Mittelwert		4,2813
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	3,9609	
			Obergrenze	4,6016	
	5% getrimmtes Mittel		4,2917		
	Median		4,0000		
	Varianz		,789		
	Std.-Abweichung		,88843		
Minimum			2,00		
Maximum			6,00		
Spannweite			4,00		
Interquartilbereich			1,00		
Schiefe			-,312		
Kurtosis			,353		
A_Fahrspur	1,00		Mittelwert		3,0938
			95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,7718
				Obergrenze	3,4157
		5% getrimmtes Mittel		3,1042	
		Median		3,0000	
		Varianz		,797	
		Std.-Abweichung		,89296	
		Minimum		1,00	
		Maximum		5,00	
		Spannweite		4,00	
		Interquartilbereich		1,75	
		Schiefe		-,192	
		Kurtosis		-,285	

Deskriptive Statistik

	Gruppe		Std.-Fehler	
A_Schräglage_visuell	1,00	Mittelwert	,21882	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
			Obergrenze	
		5% getrimmtes Mittel		
		Median		
		Varianz		
		Std.-Abweichung		
		Minimum		
		Maximum		
		Spannweite		
	Interquartilbereich			
	Schiefe	,414		
	Kurtosis	,809		
	2,00	Mittelwert	,15705	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
			Obergrenze	
		5% getrimmtes Mittel		
		Median		
		Varianz		
		Std.-Abweichung		
Minimum				
Maximum				
Spannweite				
Interquartilbereich				
Schiefe	,414			
Kurtosis	,809			
A_Fahrspur	1,00	Mittelwert	,15785	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
			Obergrenze	
		5% getrimmtes Mittel		
		Median		
		Varianz		
		Std.-Abweichung		
		Minimum		
		Maximum		
		Spannweite		
Interquartilbereich				
Schiefe	,414			
Kurtosis	,809			

Deskriptive Statistik

Gruppe		Statistik	
	2,00	Mittelwert	3,4063
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze
	Obergrenze		3,7472
	5% getrimmtes Mittel	3,3958	
	Median	3,0000	
	Varianz	,894	
	Std.-Abweichung	,94560	
	Minimum	2,00	
	Maximum	5,00	
	Spannweite	3,00	
	Interquartilbereich	1,00	
	Schiefe	,044	
	Kurtosis	-,819	
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	3,9532
5% getrimmtes Mittel		3,4861	
Median		4,0000	
Varianz		1,805	
Std.-Abweichung		1,34367	
Minimum		1,00	
Maximum		6,00	
Spannweite		5,00	
Interquartilbereich		2,50	
Schiefe		-,270	
Kurtosis		-,728	
		2,00	Mittelwert
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze
		Obergrenze	4,6355
	5% getrimmtes Mittel	4,2917	
	Median	4,0000	
	Varianz	,802	
	Std.-Abweichung	,89578	
	Minimum	3,00	
	Maximum	6,00	
	Spannweite	3,00	
	Interquartilbereich	1,00	
	Schiefe	,177	
	Kurtosis	-,608	

Deskriptive Statistik

Gruppe		Std.-Fehler	
2,00	Mittelwert	,16716	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	
	A_Schräglage_Bewegungs system 1,00	Mittelwert	,23753
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	
		Obergrenze	
5% getrimmtes Mittel			
Median			
Varianz			
Std.-Abweichung			
Minimum			
Maximum			
Spannweite			
Interquartilbereich			
Schiefe		,414	
Kurtosis		,809	
2,00		Mittelwert	,15835
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	

Perzentile

		Gruppe	Perzentile		
			5	10	25
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	A_Schräglage_visuell	1,00	1,6500	2,3000	3,2500
		2,00	2,6500	3,0000	4,0000
	A_Fahrspur	1,00	1,6500	2,0000	2,2500
		2,00	2,0000	2,0000	3,0000
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	1,0000	1,3000	2,2500
		2,00	3,0000	3,0000	4,0000
Tukey-Angelpunkte	A_Schräglage_visuell	1,00			3,5000
		2,00			4,0000
	A_Fahrspur	1,00			2,5000
		2,00			3,0000
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00			2,5000
		2,00			4,0000

Perzentile

		Gruppe	Perzentile		
			50	75	90
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	A_Schräglage_visuell	1,00	5,0000	5,0000	5,7000
		2,00	4,0000	5,0000	5,0000
	A_Fahrspur	1,00	3,0000	4,0000	4,0000
		2,00	3,0000	4,0000	5,0000
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	4,0000	4,7500	5,0000
		2,00	4,0000	5,0000	5,7000
Tukey-Angelpunkte	A_Schräglage_visuell	1,00	5,0000	5,0000	
		2,00	4,0000	5,0000	
	A_Fahrspur	1,00	3,0000	4,0000	
		2,00	3,0000	4,0000	
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	4,0000	4,5000	
		2,00	4,0000	5,0000	

Perzentile

		Gruppe	Perzentile 95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	A_Schräglage_visuell	1,00	6,0000
		2,00	6,0000
	A_Fahrspur	1,00	4,3500
		2,00	5,0000
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	5,3500
		2,00	6,0000
Tukey-Angelpunkte	A_Schräglage_visuell	1,00	
		2,00	
	A_Fahrspur	1,00	
		2,00	
	A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	
		2,00	

Tests auf Normalverteilung

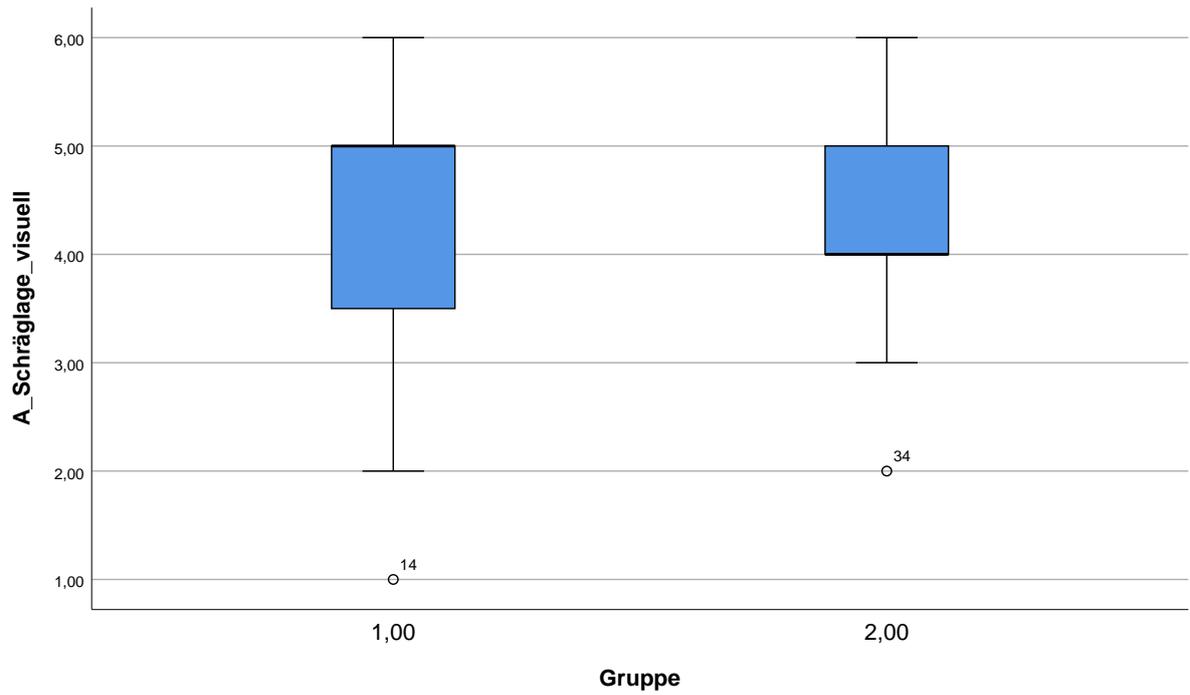
	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk	
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df
A_Schräglage_visuell	1,00	,349	32	,000	,809	32
	2,00	,220	32	,000	,890	32
A_Fahrspur	1,00	,208	32	,001	,894	32
	2,00	,204	32	,002	,883	32
A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	,185	32	,007	,930	32
	2,00	,230	32	,000	,879	32

Tests auf Normalverteilung

	Gruppe	Shapiro-Wilk
		Signifikanz
A_Schräglage_visuell	1,00	,000
	2,00	,004
A_Fahrspur	1,00	,004
	2,00	,002
A_Schräglage_Bewegungs system	1,00	,039
	2,00	,002

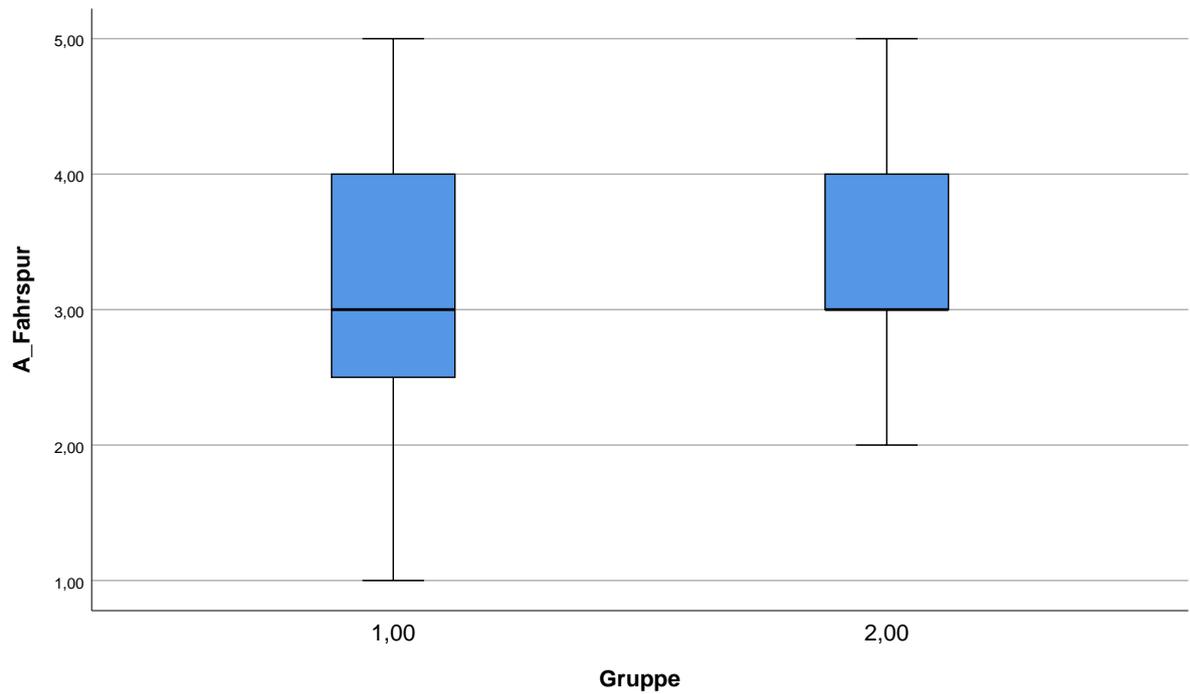
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



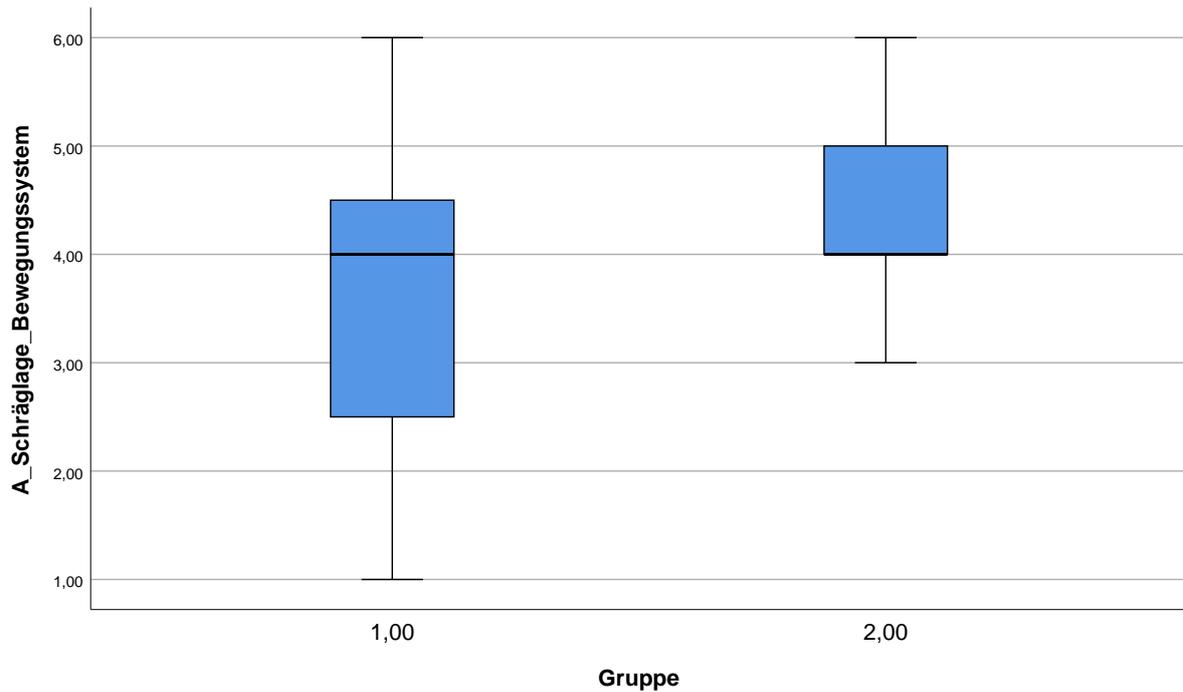
A_Fahrspur

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



A_Schräglage_Bewegungssystem

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von A_Schräglage_visuell ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,291	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von A_Schräglage_Bewegungssystem ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,012	Nullhypothese ablehnen
3	Die Verteilung von A_Fahrspur ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,222	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Explorative Datenanalyse

VAR00002

Verarbeitete Fälle

	VAR00002	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
LANEX	1,00	22	68,8%	10	31,3%	32	100,0%
	2,00	22	68,8%	10	31,3%	32	100,0%

Deskriptive Statistik

VAR00002		Statistik	Std.-Fehler		
LANEX	1,00	Mittelwert	,0246	,00910	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	,0056	
			Obergrenze	,0435	
		5% getrimmtes Mittel	,0196		
		Median	,0000		
		Varianz	,002		
		Std.-Abweichung	,04269		
		Minimum	,00		
		Maximum	,14		
		Spannweite	,14		
		Interquartilbereich	,05		
		Schiefe	1,611	,491	
		Kurtosis	1,568	,953	
			2,00	Mittelwert	,0023
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			,0000	
	Obergrenze			,0047	
5% getrimmtes Mittel	,0015				
Median	,0000				
Varianz	,000				
Std.-Abweichung	,00533				
Minimum	,00				
Maximum	,02				
Spannweite	,02				
Interquartilbereich	,00				
Schiefe	2,393			,491	
Kurtosis	5,124			,953	

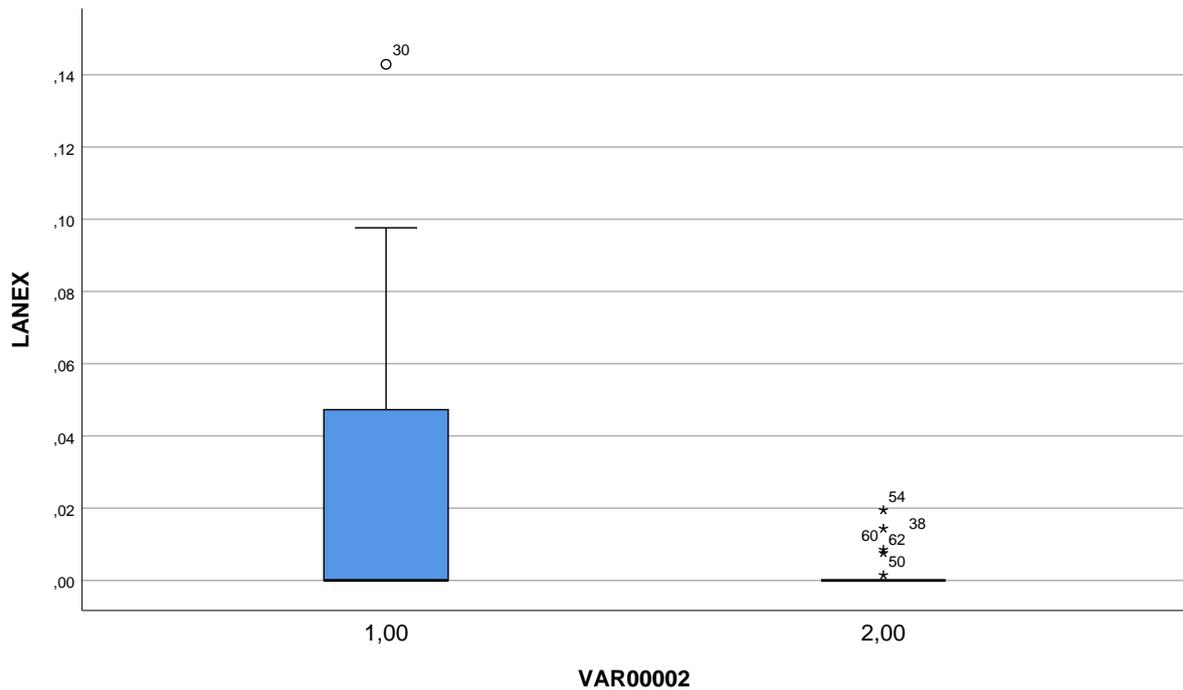
Tests auf Normalverteilung

	VAR00002	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
LANEX	1,00	,383	22	,000	,646	22	,000
	2,00	,442	22	,000	,516	22	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

LANEX

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



Nicht parametrische Tests

Anmerkungen

Ausgabe erstellt		29-DEC-2022 11:42:28
Kommentare		
Eingabe	Aktiver Datensatz	DataSet2
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	64
Syntax	<pre> NPTESTS /INDEPENDENT TEST (LANEX) GROUP (VAR00002) /MISSING SCOPE=ANALYSIS USERMISSING=EXCLUDE /CRITERIA ALPHA=0.05 CILEVEL=95. </pre>	
Ressourcen	Prozessorzeit	00:00:00,08
	Verstrichene Zeit	00:00:00,06

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von LANEX ist über die Kategorien von VAR00002 identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,171	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Explorative Datenanalyse

Gruppe

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
UTurn_A	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32	100,0%
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32	100,0%

Deskriptive Statistik

Gruppe			Statistik	Std.-Fehler	
UTurn_A	1,00	Mittelwert	,1245	,02427	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	,0750	
			Obergrenze	,1740	
		5% getrimmtes Mittel	,1116		
		Median	,0838		
		Varianz	,019		
		Std.-Abweichung	,13728		
		Minimum	,00		
		Maximum	,51		
		Spannweite	,51		
		Interquartilbereich	,20		
		Schiefe	1,292	,414	
		Kurtosis	1,222	,809	
			2,00	Mittelwert	,0760
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			,0457	
	Obergrenze			,1062	
5% getrimmtes Mittel	,0665				
Median	,0520				
Varianz	,007				
Std.-Abweichung	,08395				
Minimum	,00				
Maximum	,34				
Spannweite	,34				
Interquartilbereich	,10				
Schiefe	1,657			,414	
Kurtosis	2,861			,809	

Perzentile

		Gruppe	Perzentile			
			5	10	25	50
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	UTurn_A	1,00	,0000	,0000	,0110	,0838
		2,00	,0000	,0000	,0075	,0520
Tukey-Angelpunkte	UTurn_A	1,00			,0113	,0838
		2,00			,0089	,0520

Perzentile

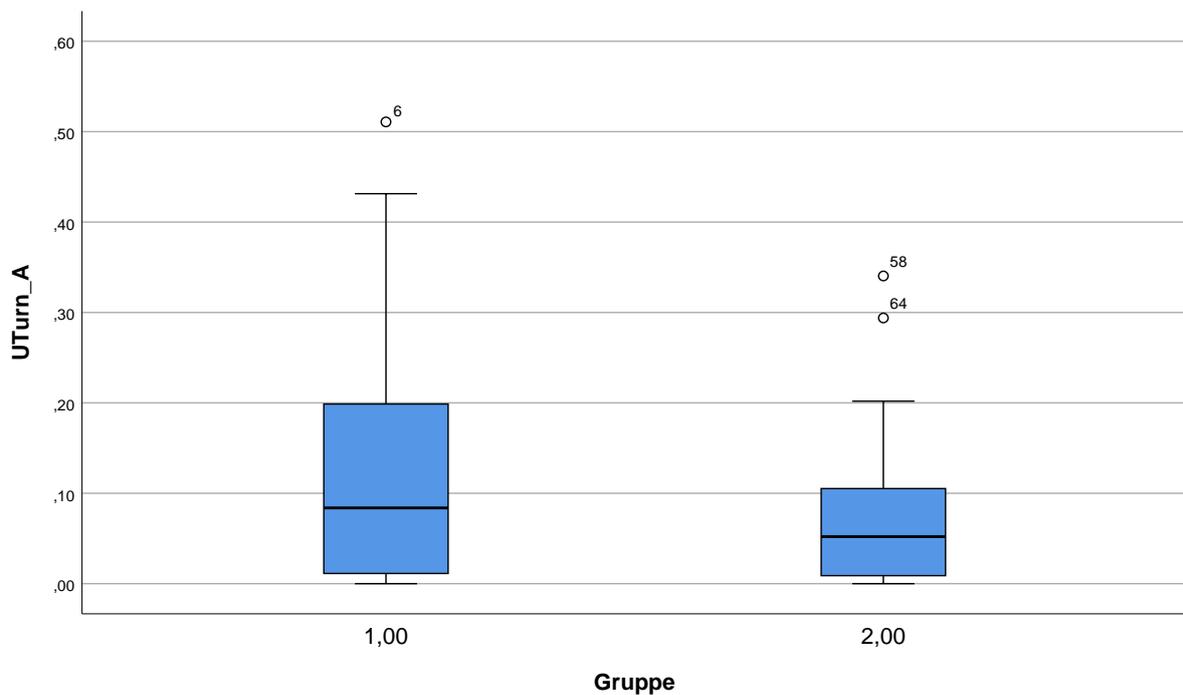
		Gruppe	Perzentile		
			75	90	95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	UTurn_A	1,00	,2084	,3727	,4592
		2,00	,1078	,1920	,3102
Tukey-Angelpunkte	UTurn_A	1,00	,1987		
		2,00	,1052		

Tests auf Normalverteilung

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
		Gruppe	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
UTurn_A	1,00		,182	32	,008	,842	32	,000
	2,00		,183	32	,008	,823	32	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

UTurn_A



Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von UTurn_A ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,236	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Explorative Datenanalyse

Gruppe

Verarbeitete Fälle

Gruppe	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt		
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent	
SDLP	1,00	28	87,5%	4	12,5%	32	100,0%
	2,00	28	87,5%	4	12,5%	32	100,0%

Deskriptive Statistik

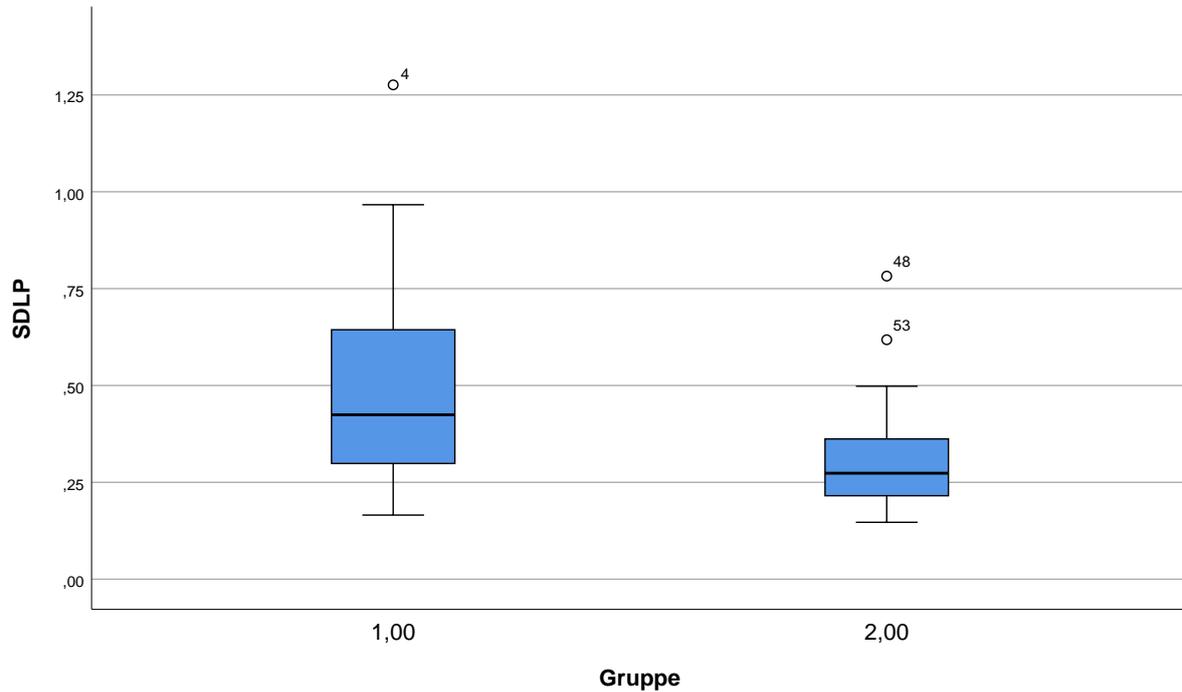
Gruppe	Statistik	Std.-Fehler		
SDLP	1,00 Mittelwert	,4757	,04880	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	,3756	
		Obergrenze	,5759	
	5% getrimmtes Mittel	,4532		
	Median	,4243		
	Varianz	,067		
	Std.-Abweichung	,25821		
	Minimum	,17		
	Maximum	1,28		
	Spannweite	1,11		
	Interquartilbereich	,37		
	Schiefe	1,382	,441	
	Kurtosis	2,142	,858	
	2,00	Mittelwert	,3151	,02664
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	,2605	
		Obergrenze	,3698	
5% getrimmtes Mittel		,3007		
Median		,2736		
Varianz		,020		
Std.-Abweichung		,14096		
Minimum		,15		
Maximum		,78		
Spannweite		,64		
Interquartilbereich		,15		
Schiefe		1,776	,441	
Kurtosis		3,703	,858	

Tests auf Normalverteilung

SDLP	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
	1,00	,218	28	,001	,881	28	,004
	2,00	,201	28	,005	,830	28	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Mediane von SDLP sind über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mediantest bei unabhängigen Stichproben	,061	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzwerte werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Gültig		Fälle Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
UTurn_A	1,00	29	90,6%	3	9,4%	32	100,0%
	2,00	29	90,6%	3	9,4%	32	100,0%

Deskriptive Statistik

Gruppe		Statistik	Std.-Fehler		
UTurn_A	1,00	Mittelwert	1,0892	,14626	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	,7897	
			Obergrenze	1,3888	
		5% getrimmtes Mittel	,9927		
		Median	,7271		
		Varianz	,620		
		Std.-Abweichung	,78762		
		Minimum	,49		
		Maximum	3,72		
		Spannweite	3,23		
		Interquartilbereich	,68		
		Schiefe	1,982	,434	
		Kurtosis	3,769	,845	
			2,00	Mittelwert	,8989
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze			,7277	
	Obergrenze			1,0701	
5% getrimmtes Mittel	,8629				
Median	,7701				
Varianz	,203				
Std.-Abweichung	,45008				
Minimum	,36				
Maximum	2,19				
Spannweite	1,83				
Interquartilbereich	,44				
Schiefe	1,489			,434	
Kurtosis	1,772			,845	

Perzentile

		Gruppe	Perzentile			
			5	10	25	50
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	UTurn_A	1,00	,4925	,5033	,5938	,7271
		2,00	,3787	,5155	,5737	,7701
Tukey-Angelpunkte	UTurn_A	1,00			,5981	,7271
		2,00			,5835	,7701

Perzentile

		Gruppe	Perzentile		
			75	90	95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	UTurn_A	1,00	1,2722	2,3990	3,2453
		2,00	1,0153	1,7799	2,0050
Tukey-Angelpunkte	UTurn_A	1,00	1,2517		
		2,00	,9364		

Tests auf Normalverteilung

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Gruppe		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
UTurn_A	1,00	,230	29	,000	,735	29	,000
	2,00	,225	29	,001	,838	29	,000

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

SDLP UTurn

Explorative Datenanalyse

Gruppe

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Fälle				Gesamt N
		Gültig		Fehlend		
		N	Prozent	N	Prozent	
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32
A_Situationsbedingter_Stress	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32
A_Negative_Emotionen	1,00	32	100,0%	0	0,0%	32
	2,00	32	100,0%	0	0,0%	32

Verarbeitete Fälle

	Gruppe	Fälle
		Gesamt Prozent
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	100,0%
	2,00	100,0%
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00	100,0%
	2,00	100,0%
A_Situationsbedingter_Stress	1,00	100,0%
	2,00	100,0%
A_Negative_Emotionen	1,00	100,0%
	2,00	100,0%

Deskriptive Statistik

	Gruppe			Statistik		
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	Mittelwert		3,8750		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,5002		
			Obergrenze	4,2498		
		5% getrimmtes Mittel		3,9653		
		Median		4,0000		
		Varianz		1,081		
		Std.-Abweichung		1,03954		
		Minimum		,00		
		Maximum		5,00		
		Spannweite		5,00		
		Interquartilbereich		2,00		
		Schiefe		-1,574		
		Kurtosis		4,906		
			2,00	Mittelwert		3,7813
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	3,3956
Obergrenze	4,1669					
5% getrimmtes Mittel				3,8472		
Median				4,0000		
Varianz				1,144		
Std.-Abweichung				1,06965		
Minimum				1,00		
Maximum				5,00		
Spannweite				4,00		
Interquartilbereich				2,00		
Schiefe				-,714		
Kurtosis				,052		
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00			Mittelwert		2,9688
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,5250
		Obergrenze	3,4125			
		5% getrimmtes Mittel		2,9653		
		Median		3,0000		
		Varianz		1,515		
		Std.-Abweichung		1,23090		
		Minimum		1,00		
		Maximum		5,00		
		Spannweite		4,00		
		Interquartilbereich		2,00		
		Schiefe		-,159		
		Kurtosis		-,898		

Deskriptive Statistik

	Gruppe		Std.-Fehler		
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	Mittelwert	,18377		
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze		
			Obergrenze		
		5% getrimmtes Mittel			
		Median			
		Varianz			
		Std.-Abweichung			
		Minimum			
		Maximum			
		Spannweite			
		Interquartilbereich			
		Schiefe		,414	
		Kurtosis		,809	
			2,00	Mittelwert	,18909
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze
Obergrenze					
5% getrimmtes Mittel					
Median					
Varianz					
Std.-Abweichung					
Minimum					
Maximum					
Spannweite					
Interquartilbereich					
Schiefe				,414	
Kurtosis				,809	
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00			Mittelwert	,21759
				95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze
		Obergrenze			
		5% getrimmtes Mittel			
		Median			
		Varianz			
		Std.-Abweichung			
		Minimum			
		Maximum			
		Spannweite			
		Interquartilbereich			
		Schiefe		,414	
		Kurtosis		,809	

Deskriptive Statistik

Gruppe		Statistik		
2,00	Mittelwert		3,3125	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,8598	
		Obergrenze	3,7652	
	5% getrimmtes Mittel		3,3819	
	Median		3,5000	
	Varianz		1,577	
	Std.-Abweichung		1,25563	
	Minimum		,00	
	Maximum		5,00	
	Spannweite		5,00	
	Interquartilbereich		1,00	
	Schiefe		-,744	
	Kurtosis		,349	
	A_Situationsbedingter_Stress	1,00	Mittelwert	2,9688
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,5345
			Obergrenze	3,4030
		5% getrimmtes Mittel		3,0208
		Median		3,0000
		Varianz		1,451
		Std.-Abweichung		1,20441
		Minimum		,00
		Maximum		5,00
		Spannweite		5,00
		Interquartilbereich		2,00
		Schiefe		-,646
		Kurtosis		-,325
2,00		Mittelwert		3,1563
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	2,7257	
		Obergrenze	3,5868	
	5% getrimmtes Mittel		3,2083	
	Median		3,0000	
	Varianz		1,426	
	Std.-Abweichung		1,19432	
	Minimum		,00	
	Maximum		5,00	
	Spannweite		5,00	
	Interquartilbereich		2,00	
	Schiefe		-,562	
	Kurtosis		,071	

Deskriptive Statistik

Gruppe		Std.-Fehler	
2,00	Mittelwert	,22197	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	
	A_Situationsbedingter_Stress	1,00	Mittelwert
95% Konfidenzintervall des Mittelwerts			Untergrenze
		Obergrenze	
5% getrimmtes Mittel			
Median			
Varianz			
Std.-Abweichung			
Minimum			
Maximum			
Spannweite			
Interquartilbereich			
Schiefe		,414	
Kurtosis		,809	
2,00		2,00	Mittelwert
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze
		Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel		
	Median		
	Varianz		
	Std.-Abweichung		
	Minimum		
	Maximum		
	Spannweite		
	Interquartilbereich		
	Schiefe	,414	
	Kurtosis	,809	

Deskriptive Statistik

	Gruppe			Statistik
A_Negative_Emotionen	1,00	Mittelwert		2,0625
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	1,6145
			Obergrenze	2,5105
		5% getrimmtes Mittel		2,0139
		Median		2,0000
		Varianz		1,544
		Std.-Abweichung		1,24272
		Minimum		,00
		Maximum		5,00
		Spannweite		5,00
		Interquartilbereich		2,00
		Schiefe		,628
		Kurtosis		,267
		2,00	Mittelwert	
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	1,6068
			Obergrenze	2,4557
	5% getrimmtes Mittel		2,0347	
	Median		2,0000	
	Varianz		1,386	
	Std.-Abweichung		1,17732	
Minimum			,00	
Maximum			4,00	
Spannweite			4,00	
Interquartilbereich			2,00	
Schiefe			-,190	
Kurtosis			-,708	

Deskriptive Statistik

		Gruppe	Std.-Fehler	
A_Negative_Emotionen	1,00	Mittelwert	,21968	
		95% Konfidenzintervall des Mittelwerts	Untergrenze	
			Obergrenze	
		5% getrimmtes Mittel		
		Median		
		Varianz		
		Std.-Abweichung		
		Minimum		
		Maximum		
		Spannweite		
		Interquartilbereich		
		Schiefe	,414	
		Kurtosis	,809	
		2,00	Mittelwert	,20812
	95% Konfidenzintervall des Mittelwerts		Untergrenze	
			Obergrenze	
	5% getrimmtes Mittel			
	Median			
	Varianz			
	Std.-Abweichung			
Minimum				
Maximum				
Spannweite				
Interquartilbereich				
Schiefe	,414			
Kurtosis	,809			

Tests auf Normalverteilung

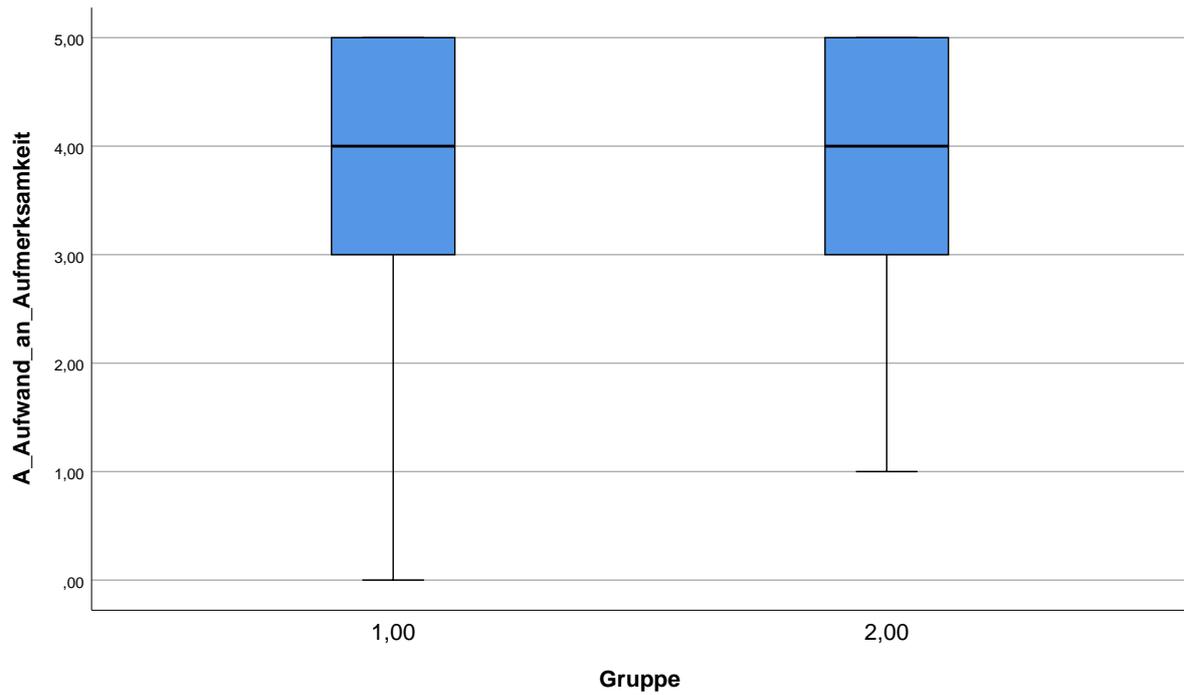
	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk	
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	,235	32	,000	,789	32
	2,00	,237	32	,000	,875	32
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00	,174	32	,015	,912	32
	2,00	,208	32	,001	,905	32
A_Situationsbedingter_Stress	1,00	,242	32	,000	,883	32
	2,00	,229	32	,000	,904	32
A_Negative_Emotionen	1,00	,179	32	,011	,908	32
	2,00	,177	32	,012	,916	32

Tests auf Normalverteilung

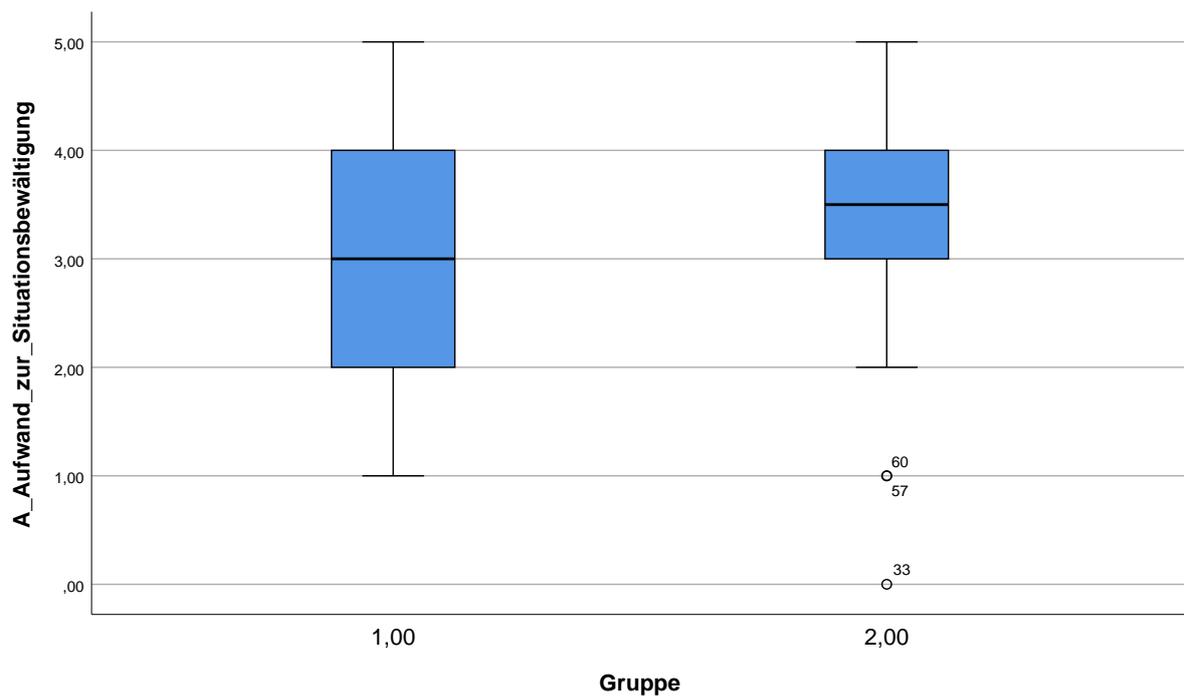
	Gruppe	Shapiro-Wilk
		Signifikanz
A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit	1,00	,000
	2,00	,002
A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung	1,00	,012
	2,00	,008
A_Situationsbedingter_Stress	1,00	,002
	2,00	,008
A_Negative_Emotionen	1,00	,010
	2,00	,017

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

A_Aufwand_an_Aufmerksamkeit

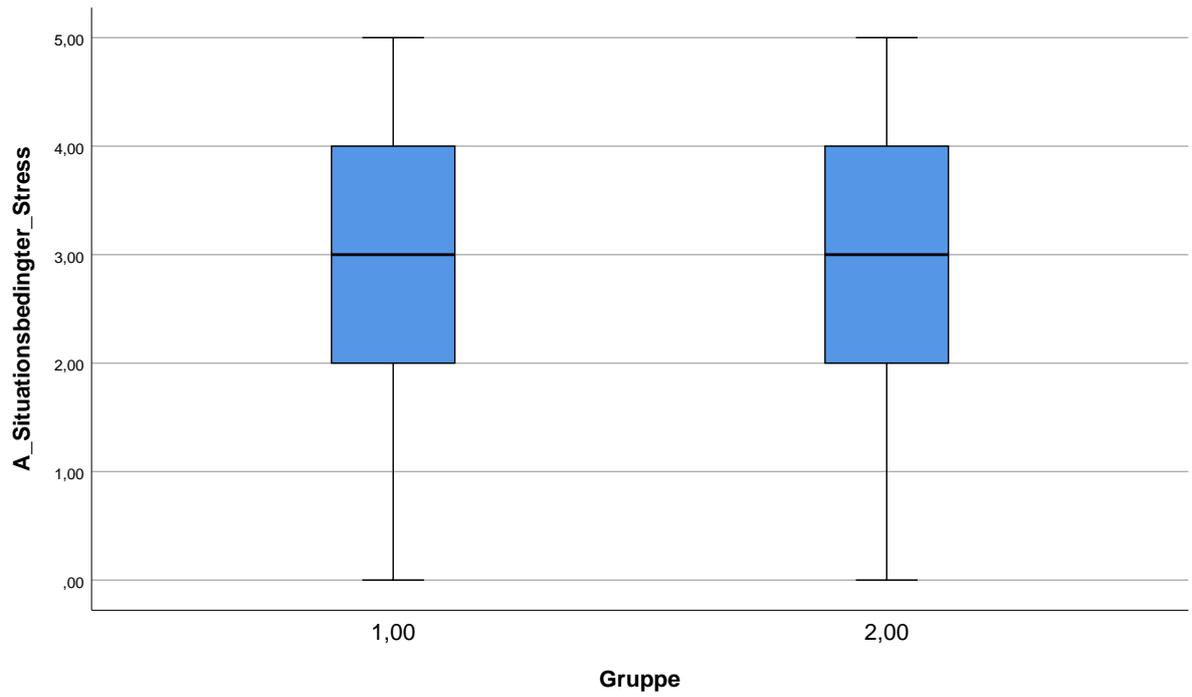


A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung

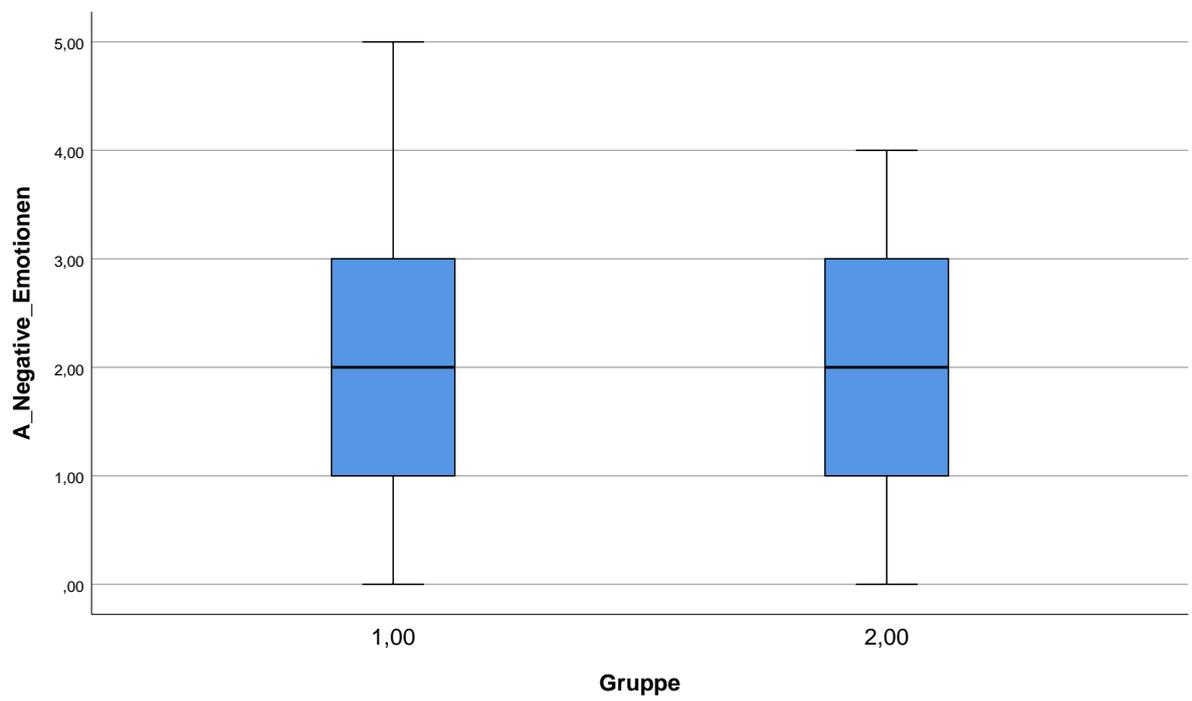


A_Situationsbedingter_Stress

Trendbereinigte normalverteilte Q-Q-Diagramme



A_Negative_Emotionen



T-Test

Gruppenstatistiken

	Gruppe	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
A_Aufwand_an_Aufmerksamkei	1,00	32	3,8750	1,03954	,18377
	2,00	32	3,7813	1,06965	,18909

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die ...
		F	Signifikanz	T
A_Aufwand_an_Aufmerksamkei	Varianzen sind gleich	,460	,500	,356
	Varianzen sind nicht gleich			,356

Test bei unabhängigen Stichproben

		T-Test für die Mittelwertgleichheit		
		df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz
A_Aufwand_an_Aufmerksamkei	Varianzen sind gleich	62	,723	,09375
	Varianzen sind nicht gleich	61,950	,723	,09375

Test bei unabhängigen Stichproben

		T-Test für die Mittelwertgleichheit	
		Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzinterv.. Untere
A_Aufwand_an_Aufmerksamkei	Varianzen sind gleich	,26368	-,43333
	Varianzen sind nicht gleich	,26368	-,43334

Test bei unabhängigen Stichproben

		T-Test für die Mittelwertgleichh.. 95% Konfidenzinterval.. Obere	
A_Aufwand_an_Aufmerksamkei	Varianzen sind gleich	,62083	
	Varianzen sind nicht gleich	,62084	

Nicht parametrische Tests

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von A_Aufwand_zur_Situationsbewältigung ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,231	Nullhypothese beibehalten
2	Die Verteilung von A_Situationsbedingter_Stress ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,565	Nullhypothese beibehalten
3	Die Verteilung von A_Negative_Emotionen ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,862	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanzen werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.