

---

Bestimmung von Schwierigkeitsgraden  
in einer zu entwickelnden Versuchsumgebung

---

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Psychologin (Dipl.-Psych.)

eingereicht am Institut für Psychologie  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
der Humboldt-Universität zu Berlin

vorgelegt von:

Barbara-Ulrike Groß

Schwedter Straße 249  
D-10119 Berlin  
Matrikel-Nr.: 162817

Gutachter:

Prof. Hartmut Wandke  
Humboldt-Universität zu Berlin  
Dipl.-Psych. Knut Polkehn  
Humboldt-Universität zu Berlin

Berlin, 30. November 2004

# INHALTSVERZEICHNIS

1	Problemstellung.....	6
2	Theoretische Grundlagen .....	11
2.1	Regelungstheorie .....	11
2.2	Tracking.....	15
2.3	Menschliche Informationsverarbeitung.....	17
2.4	Beanspruchung, Belastung, Leistung .....	18
3	Fragestellung und Forschungshypothesen .....	24
3.1	Entwicklung einer Methodik zur Streckenerstellung .....	24
3.2	Bestimmung von Schwierigkeitsgraden der Strecke der Versuchsumgebung .....	24
4	Methodik der Streckenerstellung .....	27
4.1	Zielstellung.....	27
4.2	Entwurfsgrundlagen – die Theorie .....	27
4.3	Gestaltungsprinzipien – die Praxis .....	29
4.3.1	Technische Umsetzung .....	29
4.3.2	Vorbild für die Strecke .....	30
4.3.3	Gestaltung.....	33
4.3.4	Bauprinzip .....	36
5	Methodik der Datengewinnung der empirischen Untersuchung.....	38
5.1	Objektive Daten – experimentelle Untersuchung .....	38
5.1.1	Experimentelles Design.....	38
5.1.2	Unabhängige Variablen.....	40
5.1.3	Abhängige Variablen.....	41
5.1.4	Moderatorvariablen .....	44
5.2	Subjektive Daten - Fragebogenerhebung .....	44
5.2.1	NASA Task Load Index (NASA-TLX) .....	44
5.3	soziodemographische Daten und Erfassung von Vorerfahrungen .....	46
5.3.1	Charakterisierung der Stichprobe.....	48
5.4	Ablauf der empirischen Untersuchung.....	50
5.4.1	Aufbau der Versuchsstrecke.....	51
5.4.2	Zusatzausstattung .....	53
6	Ergebnisse der Experimentellen Untersuchung .....	57
6.1	Datenaufbereitung .....	57
6.2	Schritt 1: Analyse auf Versuchspersonenebene .....	59
6.3	Schritt 2: Analyse auf Elementebene – globaler Vergleich .....	61
6.4	Schritt 3: Analyse auf Elementebene – Kombinationseffekte.....	66
6.5	Schritt 4: Analyse auf Versuchsteilebene – objektive Daten .....	70

6.6	Schritt 5: Analyse auf Versuchsteilebene – subjektive Daten.....	71
6.7	Schritt 6: Effekt der Variation der Fahrzeugposition – objektive Daten.....	76
6.8	Schritt 7: Effekt der Variation der Fahrzeugposition - subjektive Daten.....	77
6.9	Schritt 7: Überprüfung der Kontrollhypothesen.....	78
7	Diskussion .....	81
7.1	Ergebnisse der Untersuchung.....	81
7.1.1	Vergleich der Elemente.....	81
7.1.2	Vergleich der Versuchsteile .....	82
7.1.3	Kontrollhypothesen .....	84
7.2	Einschätzung der Methodik zur Streckenerstellung.....	84
8	Zusammenfassung .....	87
9	Ausblick .....	88
10	Literaturverzeichnis.....	89
	Anhang .....	91

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der Grundelemente.....	35
Tabelle 2: Charakterisierung der Stichprobe.....	49
Tabelle 3: Mittelwerte der aV nach Versuchsteilen und Gruppenzuordnung .....	70
Tabelle 4: Skalen des NASA-TLX für beide Versuchsteile je getrennt nach VG + KG.....	73
Tabelle 5: Versuchsteil 1 vs Versuchsteil 2 – Gruppenstatistik der Skalen [KG].....	75
Tabelle 6: T-Test bei gepaarten Stichproben Versuchsteil 1 vs. Versuchsteil 2 [KG].....	75
Tabelle 7: Mittelwerte der aV für Versuchsteil 2 [VG + KG].....	76
Tabelle 8: Varianzanalyse Effekte der Positionsveränderung Versuchsteil 2 [VG + KG].....	77
Tabelle 9: Positionseffekte in Versuchsteil 2 – Gruppenstatistiken [VG vs KG] .....	77
Tabelle 10: T-Tests zur Überprüfung der Positionseffekte mittels NASA-TLX .....	78
Tabelle 11: Varianzanalyse mit Geschlecht als festem Faktor.....	78
Tabelle 12: Einfluss des Geschlechts der Vpn – Gruppenstatistiken .....	79
Tabelle 13: Varianzanalyse mit Leistungssport als festem Faktor .....	79
Tabelle 14: Einfluss von Leistungssport – Gruppenstatistiken .....	80

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.1: Fliehkraftregler .....	11
Abb.2: schematische Darstellung eines einfachen Regelkreises .....	13
Abb.3: Parameter räumlicher Linienführung .....	30
Abb.4: Konstruktionselemente des Lageplans nach Wiehler, 1996.....	31
Abb.5: Allee und Kreisverkehr .....	32
Abb.6: Kombination aus Gerade und Kreisverkehr .....	32
Abb.7: kleiner Kunstgriff .....	32
Abb.8: Ausgangselemente der Versuchstrecke .....	33
Abb.9: Gestaltungsprinzipien.....	33
Abb.10: Fusion von Ausgangselementen.....	34
Abb.11: Baukasten Grundelemente.....	36
Abb.12: Streckenerstellung Schritt 1.....	37
Abb.13: Streckenerstellung Schritt 2.....	37
Abb.14: Versuchsplan .....	39
Abb.15: Auszug aus dem NASA-TLX.....	46
Abb.16: Auszug aus dem Fragebogen zur ATEO-Fahrsimulation.....	47
Abb.17: Aufbau der Versuchstrecke.....	52
Abb.18: verschiedene Amplituden und Frequenzen.....	52
Abb.19: Zyklizität vs. Unregelmäßigkeit .....	53
Abb.20: Rechtskurven vs. Linkskurven .....	53
Abb.21: Baukasten Farbkodierungen .....	54
Abb.22: Bestimmung der Ideallinie .....	55
Abb.23: Boxplots Versuchsteil 1 [VG + KG] .....	59
Abb.24: Boxplots Versuchsteil 2 oben [VG] .....	60
Abb.25: Boxplots Versuchsteil 2 unten [KG] .....	61
Abb.26: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Geschwindigkeit.....	62
Abb.27: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Anzahl Fehler 1 .....	62
Abb.28: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Fehler 1.....	63
Abb.29: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Anzahl Fehler 2 .....	63
Abb.30: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Fehler 2.....	64
Abb.31: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Kontrollverlust .....	64
Abb.32: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Abweichung von der Mittellinie.....	65
Abb.33: Mittelwert und Standardabweichung der aV nach Elementen und Versuchsteil .....	69
Abb.34: aV nach Versuchsteilen .....	71

---

## 1 Problemstellung

Die Beziehung zwischen Menschen und Maschinen ist ein sehr traditionsreiches Thema in der Psychologie. Maschinen dienen als einfache bis hoch komplexe Werkzeuge. Und sie werden mehr und mehr auch eingesetzt, um wieder andere Maschinen zu steuern und zu überwachen. Ermöglicht und beschleunigt wird dies durch die rasante Entwicklung vor allem der Informations- und Kommunikationstechnik.

Dabei ergänzen Maschinen den Menschen nicht nur, sie übernehmen auch mehr und mehr seiner Funktionen. Die Strategien der Aufteilung dieser Funktionen sind vielfältig, sie reichen von der Entlastung des Menschen von Routinetätigkeiten über die Delegation von Aufgaben und Aufgabenteilen an Maschinen bis hin zur selbstständigen Übernahme von Funktionen durch Maschinen (vgl. Hauss & Timpe, 2002).

Dabei sind die sich in immer größerem Umfang bietenden Möglichkeiten der Funktionsübernahme durch Maschinen keineswegs in jedem Fall kritiklos als Fortschritt zu betrachten. Vor allem bei der Einzelfallanalyse von Unfällen zeigt sich deutlich die Notwendigkeit zu diskutieren, ob es sinnvoller ist, eine Funktion durch den Operateur oder eine Maschine, zum Beispiel in Form eines Assistenzsystems, realisieren zu lassen. Gedacht sei hier unter anderem an das viel zitierte Beispiel des Aufpralles des Lufthansa-Airbusses A-320 auf einen Erdwall hinter dem Ende der Landebahn am 14.9.1993 in Warschau (vgl. z.B. Giesa & Timpe, 2000). Ein automatisches System verhinderte hier neun Sekunden lang das Bremsen durch Schubumkehr und den Einsatz von Störklappen und Radbremsen, weil das Flugzeug noch nicht mit beiden Rädern aufgesetzt hatte.

Um eine prospektive Optimierung der Funktionsteilung bereits von frühen Phasen der Entwicklung an zu erreichen, reichen die bestehenden Lösungsansätze wie zum Beispiel MABA-MABA-Listen, die Besinnung auf „menschliche Stärken“ im Rahmen der human-centered automation und adaptivdynamische Funktionsteilung allein noch nicht aus.

Aussichtsreich erscheint ein Ansatz, der das Konzept der synchronen Funktionsteilung Mensch-Maschine beim operativen Betrieb durch das Konzept der asynchronen Arbeitsteilung Entwickler/ Operateur in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen eines MMS ergänzt.

Mit dieser besonderen Perspektive auf die Funktionsteilung in Mensch-Maschine-Systemen beschäftigt sich die Arbeitsgruppe ATEO, welche den Beitrag der Humboldt-Universität zum Graduiertenkolleg prometei am Zentrum für Mensch-Maschine-Systeme leisten wird.

---

Die hier beschriebene Versuchsumgebung wurde im Rahmen dieser Arbeitsgruppe entwickelt. Sie wird eine der Grundlagen zur Verfügung stellen, auf denen anschließende Promotionsvorhaben einen Beitrag zur experimentellen Forschung auf diesem Gebiet leisten werden.

Denn auch wenn es in der Literatur zwar sehr viele konzeptuelle Arbeiten zur Funktionsteilung in Mensch-Maschine-Systemen und zu Automatisierungsstrategien gibt, so existieren doch noch wenige Berichte über empirische oder experimentelle Untersuchungen, bei denen zum Beispiel die Funktionsteilung experimentell variiert wurde.

Wenige Ausnahmen finden sich vor allem im Bereich des Air Traffic Control (Wei et al. 1998, Skitka et al. 1999, 2000, Metzger & Parasuraman 2001 in Wandke, 2004). Aber auch diese Arbeiten analysieren ausschließlich die Betriebsphase von MMS.

Auch in Einzelfallanalysen von Unfällen wird die Funktionsteilung vor allem unter dem Gesichtspunkt thematisiert, ob es angemessener ist, eine bestimmte Funktion durch den Operateur oder durch eine Automatik realisieren zu lassen. Was den Unfallanalysen naturgemäß fehlt, ist die Gegenüberstellung mit einer wahrscheinlich sehr großen Anzahl von Situationen, in denen die Automatik erfolgreich verhindert hat, dass menschliches Fehlhandeln zu dramatischen Konsequenzen geführt hat.

Ebenso fehlt eine Analyse der Entscheidungen bei der Entwicklung der Automatik: Was waren die Ziele und die Bedingungen, von den die Entwickler ausgingen? Wie gut konnten sie die Situationen antizipieren, die den Unfällen vorausgegangen waren?

Im Projekt ATEO soll durch experimentelle Untersuchungen zum Aspekt der Funktionsteilung zwischen Entwickler und Operateur eine Lücke zwischen den konzeptionellen Arbeiten zur human-centered automation und den Analysen zu den sehr seltenen und schwer zu verallgemeinernden Unfallanalysen geschlossen werden.

„Wie gut können Entwickler, die reichlich mit Ressourcen - insbesondere mit Zeit - ausgestattet sind, eine Situation im MMS vorhersehen, Entscheidungen „auf Vorrat“ treffen und Operationen an eine Automatik (Computer, Supervision und Interventionseinheit) durch Programmierung delegieren, die diese dann zu einem späteren Zeitpunkt, u.U. sogar erst nach Jahren, ausführt?“ Das ist die Frage, die nach Wandke (2004) das Grundproblem umreißt.

Die Leistungen dieser Automatik sollen verglichen werden mit den Leistungen menschlicher Operateure – in diesem Fall Supervisoren - welche die Situation nicht vorhersehen müssen,

---

weil sie sie unmittelbar erleben, die aber verglichen mit den Entwickler arm an kognitiven und anderen Ressourcen sind und die unter Zeitdruck handeln müssen (vgl. Wandke, 2004).

Für die geplanten Laboruntersuchungen wird ein Prozess eingeführt, der durch Handlungen (Steuerungsoperationen) von Personen konstituiert wird: In der Grundform handelt es sich um eine kooperatives Tracking. Zwei Personen, so genannte Primäroperateure, steuern gemeinsam ein Objekt, das zusätzlich eine Eigendynamik besitzt. Diese kann unter anderem durch Störfaktoren hervorgerufen werden.

Der Prozess ist somit einfach genug, um dafür von Entwicklern verschiedene Assistenzsysteme bzw. teil- oder vollautomatische Systeme konzipieren zu lassen, soll aber gleichzeitig aufgrund der zu variierenden sozialen Interaktion zwischen den beiden Primäroperateuren und der Gestaltung der Trackingumgebung als offenes System prinzipiell nicht vorhersehbare Komponenten enthalten (Sheridan's „the unseen unseen“). Dies kann erreicht werden, indem das Operatorverhalten im Tracking per Instruktion an unscharfe Merkmale wie z.B. die Gefährlichkeit einer Situation, gekoppelt wird.

Vorgesehen sind schrittweise Erweiterungen des Basissystems durch verschiedene Merkmale des zu steuernden Objekts, des Kurses, der Bildschirmumgebung und der damit verbundenen semantischen Einbettung des Objekts.

Ein Supervisor (oder Sekundäroperateur) beobachtet in Echtzeit das Ergebnis des kooperativen Trackings und kann auf verschiedenartige Weise eingreifen, so wie eine Automatik oder ein Assistenzsystem eingreifen würde. Er kann z.B. bestimmte Aktionen der Primäroperateure blockieren, begrenzen und verstärken sowie informative Warnungen, Hinweise und Rückmeldungen geben. Der Grundaufbau entspricht somit dem Wizard of Oz Prinzip, wobei abweichend von der üblichen Realisierung dieses Prinzips der Zugang des Wizards zu Informationen gesondert variiert werden kann, indem z.B. nur Informationen dargeboten werden, die auch für eine Automatik (z.B. über Sensoren) zugänglich wäre. Diese Eingriffe sollen mit denen verglichen werden, die in den konzipierten und teilweise implementierten Unterstützungssystemen realisiert werden.

Das Projekt wird auf der Basis verschiedener PC-basierter Laboruntersuchungen Erkenntnisse liefern, die es ermöglichen, zukünftig eine kompetenzförderliche und zuverlässige Funktionsteilung Mensch-Maschine auf der Basis einer verbesserten Arbeitsteilung zwischen Entwicklern und Operateuren zu erreichen.

Die verschiedenen im Rahmen des Projektes ATEO geplanten experimentellen Untersuchungen sollen über eine gemeinsame Versuchsumgebung realisiert werden. Diese

---

Versuchsumgebung soll in einer Basisvariante vorliegen, welche dann gemäß der Anforderungen der jeweiligen Experimente um entsprechende Komponenten erweitert werden kann.

Die Versuchsumgebung liegt noch nicht vor, sie befindet sich gerade im ersten Entwicklungsstadium. Die besondere Herausforderung besteht darin, einen Beitrag zur Entwicklung der Versuchsumgebung zu leisten. Die hier gewonnenen Erkenntnisse und gesammelten Erfahrungen werden in die Weiterentwicklung der Versuchsumgebung einfließen.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist die Aufgabe, drei durch die Parameter der Fahrstrecke der Versuchsumgebung implizierte Schwierigkeitsgrade zu bestimmen:

- A Grenze zur Unterforderung
- B Optimale Beanspruchung
- C Grenze zur Überforderung

**Ziel dieser Arbeit** ist es zunächst, eine Methodik zu entwickeln, welche die einfache Zusammenstellung von Versuchsstrecken und die gezielte Manipulation der durch die Streckenmerkmale beeinflussten Schwierigkeitsgrade bei der Bewältigung der Strecke im Tracking ermöglicht.

In einem zweiten Schritt werden die Gedanken zur Manipulation der Schwierigkeitsgrade in einer empirischen Untersuchung evaluiert. Dazu wird an einer exemplarisch entwickelten Versuchsstrecke hypothesengeleitet eine Bestimmung der Schwierigkeitsgrade vorgenommen.

Zusätzliche Einflüsse auf das Fahrverhalten des in der Simulation zu steuernden Fahrzeuges, wie zum Beispiel Seitenwind, variierende Fahrbahneigenschaften, besondere Fahrzeugeigenschaften oder Assistenzfunktionen spielen zunächst noch keine Rolle, sie werden erst im späteren Projektverlauf sukzessiv hinzugefügt.

Es ist festzuhalten, dass bei den geplanten zukünftigen Untersuchungen nicht das Tracking an sich der Gegenstand der Forschung ist. Die hier entwickelte Tracking-Umgebung dient vielmehr als Vehikel, indem sie eine Basis für die geplanten Experimente zur Verfügung stellt. Auch wenn Implikationen aus dem Tracking-Paradigma beachtet werden müssen, bleibt der Fokus der späteren Untersuchungen auf Prozessen der Arbeitsteilung zwischen Entwicklern und Operateuren.

Nach einem kurzen Exkurs zu den theoretischen Konzepten, welche dieser Arbeit zu Grunde liegen, werden zunächst die Fragestellungen und Forschungshypothesen dargelegt. Im Anschluss werden Methodik der Streckenerstellung und empirische Untersuchung beschrieben. Die Ergebnisse der Arbeit werden diskutiert und nach einer kurzen Zusammenfassung wird ein Ausblick auf mögliche Folgeuntersuchungen gegeben.



---

von ihm verbesserten Dampfmaschine. Zuvor war dieses Maschinenelement bei den damaligen Mühlen für den gleichen Zweck verwendet worden.

Durch die Drehung des Fliehkraftreglers werden die beiden kugelförmigen Gewichte aus Gusseisen durch die Fliehkraft immer weiter gegen die Schwerkraft nach außen gezogen. Über einen Gelenk- und Hebelmechanismus wird in der Dampfleitung der Maschine eine Drosselklappe betätigt, welche die weitere Zufuhr des Dampfes zur Maschine verkleinert. Die Maschine läuft daraufhin langsamer und die Drosselklappe öffnet sich wieder. So wird erreicht, dass die Drehzahl der Maschine einen bestimmten Wert nicht übersteigen kann (vgl. Bronowski, 1970).

Diese Anordnung ist ein Musterbeispiel für einen Regelkreis mit negativer Rückkopplung.

Mit dem Begriff Rückkopplung werden selbstbegrenzende, regelnde Eigenschaften bezeichnet, die dann greifen, wenn verstärkende und schwächende Kopplungen so zusammengebracht sind, dass sie bei Messung einer Abweichung eines Ist-Wertes von einem Soll-Wert der Abweichung gegensteuern und diese damit minimieren.

Prinzipiell stabilisieren sowohl negative und als auch positive Rückkopplungen den Soll-Wert. Von Rückkopplung wird aber in der Regel nur bei negativen Rückkopplungsprozessen gesprochen, bei einer Polung also, bei der eine Sollwertabweichung eine Gegensteuerung der Regelstrecke auslöst. Positive Rückkopplungen führen im Gegensatz dazu zu einer Tendenz der Vergrößerung dieser Abweichung. Dieses Modell kann verwendet werden, um Prozesse wie den *circulus vitiosus* abzubilden, bei dem es nicht mehr zu einer Wiederherstellung des Sollwertes kommt. Aber auch negative Rückkopplungen können dazu führen, dass die Wiederherstellung des Sollwertes unmöglich wird – ist der Verstärkungsfaktor des Regelkreises bezogen auf die übrigen Kenngrößen, wie zum Beispiel Zeitkonstanten, zu groß, wird der Regelkreis instabil und beginnt zu schwingen.

Von Kybernetik und Systemtheorie wurde das Konzept der Regelkreise später auf beliebige Wirkzusammenhänge verallgemeinert und fand so auch Einzug in die Psychologie (vertiefend dazu Oppelt & Vossius, 1970).

Eine Ausführliche Darstellung dieser Thematik gibt Johannsen (1993). An dieser Stelle nur ein Überblick über die wichtigsten Begriffe:

Rückkopplungsschleifen mit Selbstregulationseigenschaften besitzen wie biologische Systeme die Fähigkeit zur Homöostase, man nennt sie Regelkreise.

Regelkreise fanden zunächst in der Regelungstechnik Anwendung. In der Norm DIN 19226 ist der Begriff der Regelung wie folgt definiert: „Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße (zu regelnde Größe), erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungskreis des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.“ (Deutsches Institut für Normung, 1994-02).

Die *Regelgröße* ist demnach eine Variable, deren Ausprägung so auf die konstituierenden Gegebenheiten zurückwirkt, dass die Einhaltung eines – nicht notwendigerweise zeitlich konstanten – Sollwertes auch beim Vorliegen von Störungen durch eine oder mehrere Störgrößen möglich ist. Für die Einhaltung des Sollwertes werden bestimmte Genauigkeitsgrenzen festgelegt.

Der Begriff *Regelstrecke* beschreibt ein System, welches in Abhängigkeit von einer oder mehreren Eingangsvariablen – dem Input – die Regelgröße als Ausgangsvariable – den Output – erzeugt.

Als „*Sollwert-Istwert-Vergleicher*“ werden Systeme bezeichnet, denen als Eingangsvariable Sollwert und Regelwert zugeführt werden und die dann als Ausgang eine Information über die Sollwert-Istwert-Abweichung liefern. Diese besteht in einfachen technischen Fällen schlicht aus der arithmetischen Differenz.

Das System, welches dann die Ausgangsinformation des Vergleichers in ein Signal umgewandelt, das der Regelgröße zurückgeführt wird und dort die Ausprägung der Regelgröße steuert, wird schließlich der *Regler* genannt.

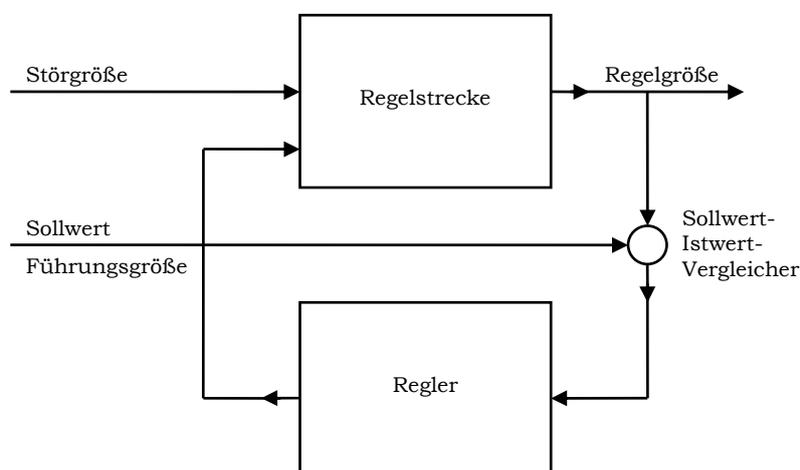


Abb.2: schematische Darstellung eines einfachen Regelkreises

---

Von Regelkreis spricht man, weil der geschlossene Informationsfluss Regelgröße – Vergleichler – Regler – Regelstrecke – Regelgröße topologisch gesehen eine Kreisstruktur hat. Der Begriff *Regelung* ist diesen Kreisstrukturen vorbehalten. Die Beeinflussung von Systemen ohne Rückkoppelung wird als Steuerung bezeichnet.

In Abgrenzung zur Regelung definiert die DIN 19226: „Das Steuern, die Steuerung, ist der Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsweg oder ein geschlossener Wirkungsweg, bei dem die durch die Eingangsgrößen beeinflussten Ausgangsgrößen nicht fortlaufend und nicht wieder über die Selben Eingangsgrößen auf sich selbst wirken.“

Die Binnenstruktur der Elemente eines Regelkreises kann wiederum Regelkreise darstellen – die Regelgröße des einen Regelkreises bildet dann zum Beispiel den Sollwert eines anderen. In der Hand-Augen-Koordination ist zum Beispiel die Positionierung der Hand einerseits Regelgröße im Regelkreis Auge-Hand, andererseits aber auch Sollwert im Regelkreis Muskelfaser-Zentralnervensystem.

Beim komplexen Zusammenwirken mehrerer Regelkreise spricht man von vermaschten Regelkreisen (vgl. Häcker & Stapf, 1998, S.727). Solche sind zum Beispiel in biologischen Systemen des Menschen zu finden.

Denn analog zu den Regelkreisen in technischen Systemen kann auch bei Organismen von einer Struktur aus Baueinheiten – wie zum Beispiel Blutkreislauf, Organe, Nervensystem – mit bestimmten dynamischen Systemen gesprochen werden (vgl. Oppelt & Vossius, 1970).

Es sind jedoch bei der Betrachtung einzelner Baueinheiten eines Organismus einige Besonderheiten zu betrachten, die in technischen Systemen in dieser Form nicht auftreten. Denn im Gegensatz zu Maschinen besteht bei Menschen nur in eher seltenen Ausnahmen die Möglichkeit, biologische Bauelemente einzeln isoliert auf ihre Funktion zu untersuchen, um aus den Ergebnissen solcher Untersuchungen und den Kenntnissen über das Zusammenwirken dieser Bausteine auf die dynamischen Eigenschaften größerer Baueinheiten schließen zu können.

Als grundlegende Methode zur Erforschung von Regelungsprozessen in menschlichen Systemen findet daher die Modellierung Anwendung. Dabei wird bei der klassischen Vorgehensweise zunächst ein technisches oder mathematisches Modell für die

interessierenden, am Organismus beobachtbaren Reaktionen auf bestimmte Einflüsse von außen gesucht.

Ein Modell ist in der Regel umso leistungsfähiger, je mehr solcher Ursache-Wirkungs-Beziehungen am realen Objekt es wiederzugeben vermag.

Dennoch kann es bei solchen Modellen nicht um eine 1:1 Abbildung der modellierten Systeme gehen. Zum einen dürfte dies auf Grund der hohen Komplexität derselben nur schwer möglich sein. Ein solches Modell käme der berühmten Weltformel der Physiker gleich und ist derzeit wohl genauso utopisch. Außerdem geht es bei der Modellierung ja gerade darum, zu abstrahieren – Vorgänge so zu vereinfachen, dass Zusammenhänge klarer hervortreten. So klar, dass ermöglicht wird, sie wirklich nachzuvollziehen und zu verstehen. Wichtig ist, dass alle entscheidenden Parameter entsprechend den gewählten Arbeitsbedingungen vom Modell richtig wiedergegeben werden.

Erscheint ein Modell plausibel genug, kann es an der Realität erprobt werden – ein Grundansatz des klassischen Experimentierens.

Ein Problem bei Modellen von menschlichen Systemen ist, dass diese bei der Erprobung oft Eigenschaften zeigen, die nicht explizit in das Modell hinein projiziert wurden. Die Frage ist dann, ob das modellierte System ebensolche Eigenschaften aufweist.

Die Chance dieses Effektes besteht darin, dass so Zusammenhänge ins Blickfeld geraten können, die bei Untersuchungen am Originalsystem aufgrund der Fülle von unterschiedlichen Einflussfaktoren auf den verschiedensten Ebenen entweder nur schwer oder gar nicht zu entdecken gewesen wären.

Im Zusammenhang dieser Arbeit sind Modelle für Reglereigenschaften des Menschen von großer Bedeutung: Aus der Untersuchung solcher Modelle ergeben sich wichtige Erkenntnisse über den Menschen als Regler. Und diese Erkenntnisse sind notwendig, um Systeme angemessen entwickeln zu können, in denen Menschen als Regler fungieren.

Eine Methode, um Reglereigenschaften des Menschen zu erforschen, sind Tracking-Untersuchungen.

## **2.2 Tracking**

Der Begriff Tracking leitet sich von dem englischen Begriff *track* ab, der Spur bedeutet. Tracking im Wortsinn bedeutet Spurverfolgung. Im Rahmen des Tracking-Paradigmas steht Tracking für experimentelle Aufgaben, in denen es um Spurenverfolgung geht. In Anlehnung

---

an Kuhn (vgl. Stapf & Häcker, 1998, S.610) bezeichnet Tracking-Paradigma jene psychologische Schule - oder auch Vorgehensweise – die sich auf der Basis gemeinsamer Begriffe, Fragestellungen, Kontrollen und nicht hinterfragter Postulate mit Forschungen zum Tracking beschäftigt.

Mit Hilfe von Tracking-Aufgaben lässt sich im Experiment die Steuerung von Bewegungen untersuchen. Dies kann sowohl auf grobmotorischer als auch auf feinmotorischer Ebene geschehen.

Vorgegeben wird die Position eines Zielpunktes, eines Targets. So benannt nach dem englischen Begriff für Ziel. Mit der Position dieses Targets soll eine zweite Größe in Übereinstimmung gebracht werden. Die Herausforderung für diese Art von Aufgaben besteht darin, dass sich das Target nicht still verhält, sondern bewegt. Das Target muss also mittels geeigneter Bewegungen mit der zweiten Größe verfolgt werden, die entsprechend den sprachlichen Gepflogenheiten ebenfalls mit einem englischen Begriff bezeichnet wird: Follower. Die Position des Zielpunktes stellt die Vorlage für die Spurverfolgung dar, auf ihrer Spur soll der Follower entlang geführt werden. Sie wird daher auch Führungsgröße genannt.

Die Struktur einer Tracking-Aufgabe entspricht der eines Regelkreises:

Die Position der Zielgröße entspricht der Regelgröße. Die Versuchsperson verkörpert den Regler. Die Position der verwendeten Regelungseinheit – zum Beispiel die rechte Hand – ist die Stellgröße, die Beziehung zwischen zum Beispiel der Handposition und der Followerposition die Regelstrecke. Die Abweichung der Positionen von Target und Follower entspricht der Regelabweichung.

Nach der Art der Darbietung von Target und Follower werden zwei Grundformen des Trackings unterschieden: Beim *Folgetracking* (engl. pursuit tracking) werden Zielpunkt und Follower dargeboten, beim *Kompensationstracking* (engl. compensatory tracking) wird den Versuchspersonen nur die die Abweichung beider Größen voneinander ersichtlich gemacht.

In der Klinischen Diagnostik werden Tracking-Aufgaben als Teil von Testbatterien zur Untersuchung der visuo-motorischen Koordination eingesetzt. Früher häufig verwendet wurden so genannte Pursuit Rotoren. Bei diesen Geräten befindet sich das Target auf einer drehbaren Einheit, zum Beispiel einer um ihre Längsachse rotierenden Rolle, und soll mittels einer Art Stift verfolgt werden. Heute finden mehr und mehr bildschirmgestützte Verfahren Verwendung. Eine ausführliche Darstellung findet sich bei Brickenkamp et al. (2002).

---

Die Arbeitswissenschaft bedient sich Tracking-Aufgaben, um die Steuerung von Bewegungen vor allem im Umgang mit Werkzeug im weitesten Sinne zu erforschen. Mit Hilfe von Tracking-Anordnungen lässt sich eine Vielzahl von Mensch-Maschine-Systemen simulieren. Interessant werden Tracking-Aufgaben hier vor allem durch die besondere Eigenschaft von Tracking-Anordnungen, dass sich prinzipiell alle Variablen und Übertragungseigenschaften experimentell variieren lassen. Von besonderer Bedeutung ist auf diesem Gebiet die Variation der Transformation der Eigenbewegung der Versuchsperson in die Bewegung des Followers.

### **2.3 Menschliche Informationsverarbeitung**

Die Probleme im Tracking liegen in der Regel als rein manuelle Regelungsaufgaben vor. Für die Bearbeitung einer Tracking-Aufgabe lässt sich der Mensch als in einen kompensatorischen Regelkreis eingebunden betrachten. Aufgabe ist, die Differenz zwischen der Führungsgröße – dem Target – und der rückgekoppelten Ausgangsgröße – dem Follower – kontinuierlich auf Null zu regeln. Die Versuchsanordnung wird in Analogie zur Regelstrecke betrachtet.

Im Tracking treten die so genannten sensomotorischen Prozesse im Menschen besonders hervor (vgl. Johannsen, 1993, v.a. für eine vertiefende Darstellung relevanter handlungsregulatorischer Prozesse im Sinne von Hacker und Rasmussen).

Von sensomotorischen Prozessen wird gesprochen, wenn wahrgenommene Information aus sensorischen Eingaben in motorische Antworten umgesetzt werden, ohne dass bewusste Entscheidungs- oder Auswahlvorgänge beteiligt sind. In diesen Fällen erfolgt beim Menschen eine unmittelbare zentralnervöse Übertragung, die beteiligten Prozesse sind weitgehend nicht bewusstseinspflichtig und laufen teilweise automatisiert ab.

Die Existenz solcher autonomer Prozesse lässt sich verdeutlichen, wenn man ausgewählte physiologische Funktionen und psychische Prozesse näher betrachtet:

Bei der Wahrnehmung werden aus sensorischen Reizen Merkmale gebildet, Gestaltgesetze für deren Ordnung verwendet und Muster in Bezug auf einen Bedeutungszusammenhang oder Kontext erkannt. Und zwar auch bei Menschen, die von den Gestaltgesetzen noch nie gehört haben.

Die motorische Koordination erlaubt ebenfalls, autonome Verarbeitungsleistungen zu erbringen. Bekannt sind vollständige Muster vorprogrammierter Handlungsfolgen. Ein schönes Beispiel hierfür ist das Binden einer Schleife. Wir tun es im Grunde jeden Tag, aber können wir auf Anhieb jemandem erklären, wie das geht – eine Schleife zu binden? Nein. Der

Prozess ist so automatisiert, dass die einzelnen Schritte nicht mehr ohne weiteres kognitiv zugänglich sind. Sie müssen mühsam rekonstruiert werden.

Die beschriebenen sensorischen und motorischen Prozesse werden vom Menschen kontext- oder aufgabenbezogen erlernt. Sie werden mit steigender Übung mehr und mehr automatisiert und sind am Ende nicht mehr bewusstseinspflichtig. Mit zunehmender Automatisierung steigt der Anteil autonomer sensomotorischer Prozesse, wodurch eine schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit ermöglicht wird.

Ungeübt würde ein Mensch beim Durchfahren einer belebten Kreuzung mit dem Auto den dichten Verkehr und die Verkehrsampeln als eine ungeheure Anzahl von räumlich und zeitlich verteilten Einzelsignalen wahrnehmen und die erforderlichen motorischen Handlungen als viele auszuführende Einzeloperationen begreifen.

Ohne die Möglichkeit, auf automatisierte, nicht bewusstseinspflichtige Prozesse zurückgreifen zu können, müsste der Mensch die Leistung der Informationsverarbeitung in sequentieller, bewusster Form erbringen.

Bei einem so großen Informationsangebot und so vielen für die Aufgabenbewältigung auszuführenden Einzeloperationen, wäre aufgrund der begrenzten Kapazitäten menschlicher Informationsverarbeitung die Verarbeitungsleistung unangemessen langsam. Der Mensch würde in solch einer Situation entweder Fehlhandlungen begehen oder sich sehr beansprucht fühlen.

Für einen hoch geübten Fahrer dagegen ist die gleiche Straßenverkehrssituation in der Regel problemlos und ohne Fehler zu bewältigen. (Beispiel nach Johannsen, 1993).

Gleiches gilt für die Bewältigung von komplexen Tracking-Aufgaben.

Übung ist demnach ein nicht zu unterschätzender Faktor, der auch in dieser Arbeit nicht außer Acht gelassen wird.

Bedeutsam ist ebenfalls der angedeutete Umstand, dass der Grad von Übung einen hohen Einfluss auf die empfundene Beanspruchung ausübt.

## **2.4 Beanspruchung, Belastung, Leistung**

Beanspruchung ist in der Arbeitswissenschaft ein heterogener Begriff. Es findet sich keine allgemein anerkannte Definition.

---

Im Kontext von Arbeit hat ein Konzept weite Verbreitung gefunden, in dem Beanspruchung als Auswirkungsgröße der Belastung als Einwirkungsgröße gegenüber gestellt wird (vgl. Ulich, 2001). Rohmert & Rutenfranz (1975) bezeichnen Belastungen als „objektive, von außen her auf den Menschen einwirkende Größen und Faktoren“, Beanspruchung als „deren Auswirkungen auf den Menschen“.

Während also in Mensch-Maschine-Systemen die Belastungsgrößen objektiv vorgegeben sind, handelt es sich bei der Beanspruchung zunächst ausschließlich um subjektive Empfindungen des Menschen.

Eine aufgabenspezifischere Definition geben Pfendler, Pitrella & Wiegand (1995): Sie definieren Beanspruchung „... als das Ausmaß, in dem ein Operateur bei einer Aufgabe seine individuellen Leistungsressourcen einsetzt: je höher der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben, desto stärker muss er seine individuellen Leistungsressourcen einsetzen, um die Tätigkeit erfolgreich bewältigen zu können“.

Beanspruchung lässt sich demzufolge darstellen als eine Funktion der einwirkenden Belastungsgrößen, des Zustandes des Menschen, der die Aufgabe zu erfüllen hat und des internen Leistungskriteriums, das sich der Mensch vorgegeben hat.

Nach Johannsen (1993) kann davon ausgegangen werden, dass sich jeder Bearbeiter einer Aufgabe ein solches internes Leistungskriterium vorgibt, welches ausschlaggebend dafür ist, wie viel Anstrengung er aufbringt, um die vor ihm liegende Aufgabe zu bewältigen.

Dieses Kriterium wiederum wird bestimmt von Faktoren, die den Zustand des jeweiligen Menschen beeinflussen. Das können relativ stabile Faktoren wie psychophysische Eigenschaften, allgemeine Erfahrungen, Persönlichkeit oder Einstellung sein, aber auch veränderliche Faktoren wie aufgabenspezifische Erfahrungen, Aufmerksamkeit, physiologische Aktiviertheit und Motivation sein.

Motivation ist bestimmend für die *Bereitschaft*, eine Anstrengung in bestimmter Höhe aufzuwenden, um eine bestimmte Leistung – Stichwort Leistungskriterium – zu erbringen. Die Motivation wiederum wird beeinflusst von den Erwartungen, die an das Ergebnis der Handlungen geknüpft sind. Es ist kaum vorstellbar, dass jemand Anstrengung aufwendet, wenn sich das gewünschte Handlungsergebnis auch ohne Aufwand erreichen lässt.

Bestimmte physiologische Faktoren hingegen bestimmen die *Fähigkeit*, eine Anstrengung in bestimmter Höhe aufzuwenden, sie können durch Motivation nur bedingt ausgeglichen

---

werden. Gedacht sei hier an Ermüdung und Grenzen der Konzentrationsfähigkeit, die eng miteinander verbunden sind.

Ein für experimentelle Forschung interessanter Aspekt besteht in dem Umstand, dass sich das interne Leistungskriterium für eine Aufgabe auch durch die Instruktion beeinflussen lässt.

Indem Beanspruchung gemessen wird, lassen sich in Analogie zur obigen Definition Rückschlüsse auf die Schwierigkeit der Aufgabe ziehen. Je höher die Beanspruchung, desto höher muss auch die zu Grunde liegende Schwierigkeit der Aufgabe sein.

Beanspruchung durch eine Aufgabe lässt sich in sechs Dimensionen aufteilen, die hier in Anlehnung an die deutsche Version des NASA-TLX nach Hart & Staveland (1988) dargestellt werden:

Geistige Anforderungen:            Wieviel geistige Anstrengung ist bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen, ...)? Ist die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erfordert Sie hohe Genauigkeit oder ist sie fehlertolerant?

Körperliche Anforderungen:        Wieviel körperliche Aktivität ist erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren, ...)? Ist die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?

Zeitliche Anforderungen:            Wieviel Zeitdruck wird empfunden hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftreten? Ist die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?

Ausführung der Aufgaben:            Wie erfolgreich werden nach der Meinung des Probanden die vom Versuchsleiter (oder Ihm selbst) gesetzten Ziele erreicht? Wie zufrieden sind die Probanden mit ihrer Leistung bei der Verfolgung dieser Ziele?

---

Anstrengung: Wie hart müssen die Probanden Sie arbeiten, um ihren Grad an Aufgabenerfüllung zu erreichen?

Frustration: Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (versus sicher, bestätigt, zufrieden, entspannt und zufrieden mit sich selbst) fühlen sich die Probanden während der Aufgabe?

Leistung lässt sich objektiv und mittels geeigneter Leistungsgrößen relativ einfach messen.

Die zwei wichtigsten Aspekte menschlicher Leistung sind Genauigkeit und Schnelligkeit der Aufgabendurchführung (vgl. Johannsen, 1993). Diese beiden Parameter stehen häufig in einem Wechselwirkungsverhältnis zueinander: Besonders schnell ausgeführte Aufgaben können in der Regel nicht gleichzeitig besonders genau ausgeführt werden und umgekehrt.

Ein wichtiges Maß für die Genauigkeit ist die Häufigkeit der richtigen Aufgabenerledigung. Diese lässt sich als Anzahl der richtig erledigten Teil- oder Unteraufgaben umsetzen oder – was häufiger geschieht – indem die Anzahl der aufgetretenen Fehler ermittelt wird.

Im Tracking wird Genauigkeit standardmäßig über das Fehlermaß root mean squared error erfasst. Eine genauere Beschreibung findet sich bei der Operationalisierung der unabhängigen Variablen in Kapitel 5.1.2.

Das Gleiche gilt für den Leistungsparameter Geschwindigkeit der Aufgabendurchführung.

Die Herausforderung bei der Messung von Beanspruchung besteht darin, dass sie sich nicht direkt messen lässt. Denn das Konzept der Beanspruchung beschreibt keinen klaren Parameter wie die Länge oder Größe eines Objektes - es wurde als Konstrukt, das als ein Erklärungsbegriff eingeführt. Damit ist es notwendig, indirekte Messmöglichkeiten, Indikatoren für Beanspruchung zu finden.

Solche Indikatoren können Maße physiologischer Parameter wie Herzrate, Pulsschlag oder Muskelanspannung sein. Aus psychophysiologischen Untersuchungen ist zum Beispiel bekannt, dass sich mentale Beanspruchung in der Unterdrückung der Sinusarrhythmie des Herzschlages niederschlagen (vgl. Birbaumer & Schmidt, 1996). Denkbar sind aber auch Beobachtungen, wie zum Beispiel die von Frequenzen und Amplituden von Stellbewegungen bei der Bedienung von Maschinen, oder subjektive Beanspruchungsbewertungen.

Zur Erfassung subjektiver Urteile werden die Ausführenden von Aufgaben gebeten, die empfundene Belastung selbst einzuschätzen. In Regel handelt es sich dabei um Personen, die

mit den zugrunde liegenden psychologischen Konstrukten nicht vertraut sind. Um valide Aussagen zu erhalten ist es besonders wichtig, gut zu erklären, was mit Beanspruchung genau gemeint ist.

Als Hilfsmittel werden häufig Bewertungsskalen verwendet, auf denen die Befragten die erlebte Beanspruchung einer vorgegebenen Dimension einfach ankreuzen können. Die Dimensionen werden jeweils in zwei Pole gefasst – zum Beispiel „überhaupt keine Beanspruchung“ und „sehr hohe Beanspruchung“ – oder in eine festgelegte Anzahl von Kategorien unterteilt.

Um Gedächtniseffekte zu vermeiden, werden Beanspruchungseinschätzungen direkt nach der Ausführung der relevanten Aufgaben erbeten. Diese Art von Urteilen ist daher nur retrospektiv erhältlich und nur für längere Perioden der Belastung, da bei zu häufiger Befragung während einer Aufgabe deren Ausführung zu sehr behindert werden würde. Dies ist ein Nachteil gegenüber physiologischen Verfahren, die auch direkt während der Bearbeitung der Aufgabe und für relativ kurze Zeitperioden Auskunft über Beanspruchung geben können.

Ausgeglichen wird dieses Manko durch den Nachweis, dass subjektive Bewertungen die an wissenschaftlich fundierte Maße gestellten Anforderungen in Bezug auf Validität und Reliabilität sehr gut erfüllen (vgl. Johannsen & Pfendler, 1983).

Als Ergänzung für Befragungen empfehlen sich zusätzliche Beobachtungen durch Experten.

Nach Pfendler, Pitrella & Wiegand (ebenda) lässt sich mit der Messung von Beanspruchung – wenn sie denn gelingt – auch die Angemessenheit von Beanspruchungsverläufen überprüfen. Es wird ermöglicht, sowohl Unterforderungen als auch Überforderungen aufzudecken. Das macht dieses Konzept so interessant für diese Arbeit.



### **3 Fragestellung und Forschungshypothesen**

Aus der Problemstellung ergeben sich zwei Schwerpunkte für diese Arbeit:

Eine Methodik zu entwickeln, welche die einfache Zusammenstellung von Versuchsstrecken und die gezielte Manipulation der durch die Streckenmerkmale beeinflussten Schwierigkeitsgrade bei der Bewältigung der Strecke im Tracking ermöglicht und die Evaluation der theoretischen Erwägungen in einer empirischen Untersuchung.

#### **3.1 Entwicklung einer Methodik zur Streckenerstellung**

Ein der Bestimmung von Schwierigkeitsgraden vorgeschaltetes Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung einer Versuchsstrecke, welche den beschriebenen Ansprüchen an die Kontrollierbarkeit der durch sie implizierten Schwierigkeitsgrade genügt.

Somit ergibt sich als erste Fragestellung:

F1: Wie lässt sich die Streckenführung einer Versuchsumgebung für ein Trackingexperiment so gestalten, dass die Schwierigkeitsgrade bei der Bewältigung der Strecke gezielt manipuliert werden können?

Daraus lassen sich zwei Teilfragen ableiten:

F1.1: Welche Gestaltungsprinzipien ermöglichen die gezielte Manipulierbarkeit der Schwierigkeitsgrade?

F1.2: Mit welchem Bauprinzip lässt sich eine Strecke mit variablen Komponenten umsetzen?

#### **3.2 Bestimmung von Schwierigkeitsgraden der Strecke der Versuchsumgebung**

Die zweite Fragestellung lautet:

F2: Wie lassen sich die durch die Parameter der Strecke der Versuchsumgebung implizierten Schwierigkeitsgrade bestimmen?

Die Schwierigkeit einer Trackingaufgabe wird durch verschiedene Einflussgrößen bestimmt. Ein wichtiger Faktor ist der Regelungsaufwand, welcher von Eigenschaften der Streckenführung wie Krümmungsgrad von Kurven oder (Un-)Regelmäßigkeiten in der Kurvenabfolge bestimmt wird. Erhöhter Steuerungsaufwand stellt höhere Anforderungen an

---

Reaktion und Wahrnehmung der Versuchspersonen und macht somit präzises Fahren schwieriger.

Daraus wird die erste Forschungshypothese abgeleitet:

H1: Der *Kurvenverlauf* / die *Streckenführung* beeinflusst die Schwierigkeit bei der Bewältigung der Fahraufgabe.

Ein weiterer Faktor, der sich auf die Schwierigkeit auswirkt, ist die Vorhersehbarkeit der Streckenführung. Diese ist vergleichbar mit guter und schlechter Sicht bei der Führung eines Fahrzeuges im realen Leben. Bei schlechter Sicht oder nur kurzer Voraussicht kann der Fahrer erst viel später als bei guter Sicht oder weiter Voraussicht seine Aktionen planen. Die Schwierigkeit erhöht sich.

Die zweite Forschungshypothese lautet damit:

H2: Die *Vorhersehbarkeit* der Strecke beeinflusst die Schwierigkeit der Fahraufgabe.

In Kapitel 2.4 wird der Zusammenhang von Beanspruchung und individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten beschrieben. Nicht außer Acht zu lassen ist deshalb die Frage, wie der Einfluss von Vorerfahrungen der Versuchspersonen, Übung im Sinne unterschiedlicher Lernleistungen während der Versuche, sowie Talent als Einflussfaktoren auf die Untersuchungsergebnisse zu messen, zu bewerten und zu gewichten sind.

Mögliche Effekte, die diese Variablen verursachen, sind nicht primärer Gegenstand der Untersuchung. Als potentielle Einflussfaktoren müssen sie jedoch kontrolliert werden, um eine angemessene Interpretation der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten.

Anzunehmen ist, dass mit steigendem Fertigniveau durch Übung während der Untersuchung einzelne Aufgaben besser bewältigt werden. Deren Schwierigkeitsniveau sinkt demnach aus Sicht der Versuchspersonen. Daraus leitet sich die erste Kontrollhypothese ab:

K1: Im Laufe der Untersuchung sind Lerneffekte zu beobachten.

Die Stichprobe weist eine Besonderheit auf: sie besteht zur Hälfte aus Leistungssportlern. Es ist keine Untersuchung bekannt, welche einen Zusammenhang zwischen körperlichem Training und den Fertigkeiten im Umgang mit der PC-Maus belegen, wie sie in dieser Untersuchung erforderlich sind. Dazu kommen Hinweise, dass im Tracking ohnehin interne Repräsentationen des Targets eine größere Rolle spielen als motorische Fähigkeiten. (vgl. van

der Meulen et.al., 1990). Daher wird nicht erwartet, dass Leistungssport Effekte auf die objektiven Schwierigkeitsmaße dieser Untersuchung hat.

Leistungssport kann jedoch aufgrund der Befundlage als Moderatorvariable auch nicht ausgeschlossen werden und muss somit ebenfalls kontrolliert werden. Daraus ergibt sich als zweite Kontrollhypothese:

K2: Die Untergruppen Leistungssportler und Nicht-Leistungssportler unterscheiden sich in den Mittelwerten der objektiven Schwierigkeitsmaße nicht signifikant von einander.

Den objektiven Schwierigkeitsmaßen wird zum Vergleich das subjektive Belastungsempfinden während der Untersuchung gegenübergestellt. Dieses wird über den Fragebogen NASA Task Load Index (NASA-TLX) operationalisiert. (vgl. Hart & Staveland, 1988 sowie Kapitel 5.2.1). Die dritte Kontrollhypothese lautet:

K3: Die Bewältigung höherer Schwierigkeitsgrade im Sinne der beschriebenen objektiven Schwierigkeitsmaße geht mit höherem subjektivem Belastungsempfinden einher.

## **4 Methodik der Streckenerstellung**

Im folgenden Kapitel wird die Erstellung der Versuchsstrecke beschrieben. Nach der Darlegung von Zielstellungen, Entwurfsgrundlagen und Gestaltungsprinzipien wird ein Überblick über die entstandenen Materialien gegeben.

### **4.1 Zielstellung**

Zu Beginn der Planung wurde festgelegt, welchen Ansprüchen die Versuchsstrecke genügen soll. Die Kriterien sind:

- Variationsmöglichkeit der Schwierigkeit der Strecke
- Kombinationsmöglichkeit der zugrunde liegenden Komponenten und damit eine größtmögliche Variabilität bei der Zusammensetzung neuer Strecken
- Erweiterbarkeit um neue Komponenten entsprechend den Zielsetzungen der jeweiligen Untersuchungen
- Erfüllung der optischen Kriterien für eine PC-basierte Versuchsumgebung zum Beispiel in Bezug auf Helligkeits- und Farbkontraste
- Geringe Anforderungen an Systemleistungen wie Speicherkapazität, um den technisch Ablauf der Versuche nicht zu beeinträchtigen

Darüber hinaus soll das Material für die Erstellung von Strecken so angelegt sein, einfach zu handhaben ist und den schnellen und unkomplizierten Aufbau von neuen Versuchsstrecken für die verschiedenen geplanten Untersuchungen ermöglicht.

### **4.2 Entwurfsgrundlagen – die Theorie**

Das Entwurfsprinzip für die Strecke ist sehr einfach – möglichst viel mit möglichst wenig. Dies wird erreicht, indem eine sehr geringe Anzahl von Grundelementen so gestaltet ist, dass einerseits die Eigenschaften des Materials überschaubar – und damit kontrollierbar – sind, sich durch geschickte Kombination aber dennoch praktisch unendliche Möglichkeiten ergeben.

Kombination ist in diesem Zusammenhang das wichtigste Stichwort. Schwierigkeitsgrade des Fahrbahnbandes entstehen durch zwei Faktoren:

---

Da ist die Schwierigkeit, die jedem Fahrbahnelement von Natur aus innewohnt. Sie wird wie bereits beschrieben im Sinne des Trackingparadigmas durch die Form des Elementes bestimmt – genauer durch das Verhältnis der darin zurückzulegenden Strecken auf der X- und auf der Y-Achse zu einander. Die Form bestimmt damit den Regelungsaufwand, der notwendig ist, um den jeweiligen Streckenabschnitt instruktionsgemäß zu durchfahren.

Und da ist der Einfluss, den verschiedene Elemente in Kombination aufeinander ausüben. Gemäß Russell & Sternad (2001) sind hier vor allem Vorlageneigenschaften wie Vorhersagbarkeit und Zyklizität von Bedeutung.

Vorhersagbarkeit wird erreicht, indem bestimmte, kürzere, aber dennoch prägnante Sequenzen sich wiederholen, so dass sie nach einem gewissen Lern- und Übungsprozess von den Probanden wiedererkannt werden können.

Der Begriff Zyklizität bezieht sich auf die Spur des Targets und beschreibt die Wiederholung von Frequenzen und Amplituden in bestimmten Kombinationen und Folgen. Das Vorhandensein von Zyklizität als Eigenschaft des Vorlagenmaterials wirkt sich auf die Kontrollstrategien beim Tracking aus und kann dazu führen, dass Tracking „nach Gefühl“ möglich wird. Sind die erforderlichen Bewegungen über einen gewissen Zeitraum sehr gleichmäßig und musterkonform, ist kaum noch visuelle Rückmeldung notwendig, um eine angemessene Passung zwischen Target und Follower zu erreichen (vgl. Russell & Sternad, ebenda).

Um die größtmögliche Kombinationsfähigkeit zu erlauben, müssen die Grundelemente über eine schlichte, aber unabdingbare Eigenschaft verfügen – sie müssen aneinanderpassen. Dies umzusetzen ist keineswegs so trivial, wie es zunächst klingt.

Und noch unter einem weiteren Aspekt spielt Kombination eine große Rolle – der leichten Handhabbarkeit des Materials.

Eine längere Strecke tatsächlich aus den beschriebenen schlichten, übersichtlichen – und damit auch eher kurzen – Teilstücken aufzubauen, verspricht eine Menge Arbeit zu sein. Dabei ist festzustellen, dass sich bestimmte Kombinationen von Grundelementen wiederholen, vor allem wenn zum Beispiel Zyklizität umgesetzt wird.

Es liegt daher nahe, das Kompositionsprinzip der Kombination auf eine höhere Ebene zu transferieren und feste Kombinationen von Grundelementen zusammenzustellen, die sich bei Bedarf am Stück verwenden lassen.

---

### 4.3 Gestaltungsprinzipien – die Praxis

Um eine funktionsfähige und in sich schlüssige Versuchsstrecke zu entwickeln, sind eine Reihe von Fragen auf ganz verschiedenen Ebenen zu beantworten:

Welche Analogie wird für die Strecke gewählt? Welche Gestaltungsprinzipien gelten beim Vorbild und welche davon sind auf die Versuchsumgebung zu übertragen?

Welche Ressourcen für die Gestaltung stehen zur Verfügung und welche davon sollen eingesetzt werden? Welche Optik soll die Strecke bekommen?

Und nicht zuletzt: Auf welcher Basis soll die technische Umsetzung erfolgen?

#### 4.3.1 Technische Umsetzung

In der Arbeitsgruppe wurde festgelegt, die Versuchsumgebung auf der Basis der multimedialen Entwicklungsumgebung SQUEAK zu realisieren.

SQUEAK basiert auf Smalltalk, einem integrierten System aus objektorientierter Programmiersprache, Entwicklungsumgebung mit umfassenden Bibliotheken und graphischer Oberfläche (für einen Überblick vgl. Gälli & Denker, 2004; umfassende Einführung in Guzdial, 2001). Es zeichnet sich durch einen sehr kleinen „Edit-Compile-Run-Zyklus“ aus: Jede geänderte Methode wird sofort nach dem Speichern integriert und damit direkt ausführbar.

Dieses maßgeblich von Alan Kay vorangetriebene Open-Source-Projekt wird von einer stetig wachsenden Community ständig weiterentwickelt. Es ist über das Internet frei zugänglich ([www.squeakland.org](http://www.squeakland.org)) und steht kostenlos zur Verfügung.

Die technische Implementierung der Versuchsumgebung ist nicht Teil dieser Arbeit, daher erfolgen hier keine näheren Ausführungen zu diesem Thema. Die Umsetzung erfolgte Schritt für Schritt im Rahmen der Arbeitsgruppe ATEO.

An dieser Stelle herzlichen Dank an Knut Polkehn und Joachim Warning für die geduldige und tatkräftige Unterstützung.

Die graphische Umsetzung erfolgte mit dem Programm Adobe Photoshop 7.0.

### 4.3.2 Vorbild für die Strecke

Da es in der ATEO-Arbeitsgruppe nicht um die Entwicklung und Erprobung spezifischer Assistenzfunktionen oder -systeme geht, sondern um die Erforschung von Prozessen der Arbeitsteilung zwischen Entwicklern und Operateuren, sind die Freiheitsgrade bei der Auswahl der Analogie für die Versuchsumgebung sehr groß – es besteht keine Notwendigkeit, eine bestimmte Umwelt möglichst realistisch abzubilden.

Der Einfachheit halber wurde dennoch zunächst eine gewöhnliche Straßenlage als Vorbild gewählt. Eine spätere Umsiedlung der Versuchsumgebung in die Lüfte oder das All ist aber nicht ausgeschlossen.

Auch wenn es nicht um eine naturgetreue Abbildung eines realen Fahrerlebnisses geht, liegt es nahe, für den eigenen Entwurf zu schauen, welches beim Vorbild die bestimmenden Parameter sind. In diesem Fall lautet die Frage: Was bedenkt ein Straßenbauer, wenn er eine Straße baut?

Beim Bau einer Strasse (vgl. Weise, 1997) sind drei Parameter räumlicher Linienführung zu beachten: das Fahrbahnband, die Ausstattung der Strasse und das Straßenumfeld.

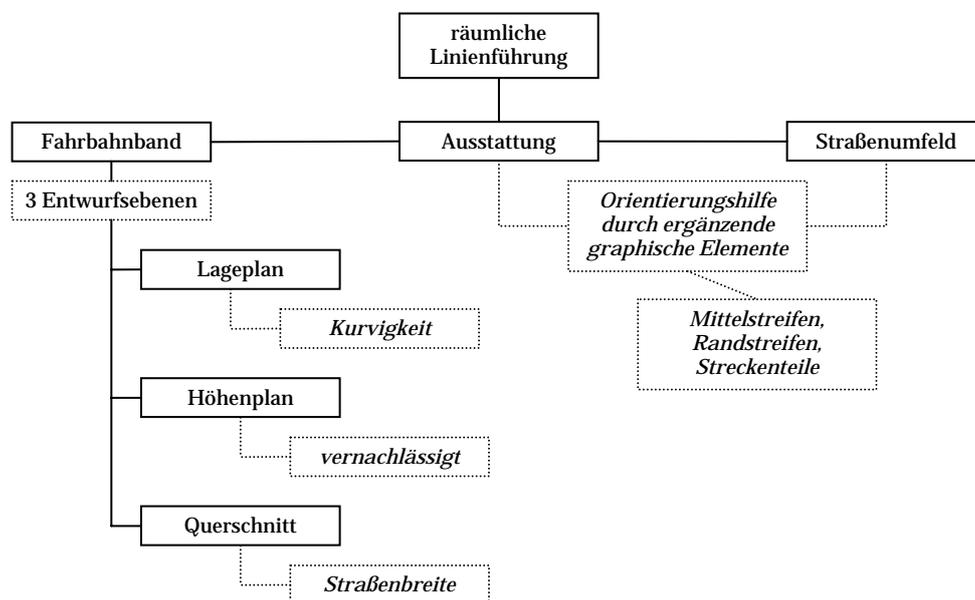


Abb.3: Parameter räumlicher Linienführung

Die vorgegebene Dreiteilung erweist sich als brauchbarer Ansatzpunkt für die Überlegungen, aus welchen Komponenten die Strecke bestehen soll.

Ein Fahrbahnband wird über drei Entwurfsebenen realisiert – Lageplan, Höhenplan und Querschnitt der Strasse. Der Lageplan wird maßgeblich durch die Kurvigkeit der Strecke

bestimmt, ist also hochgradig relevant. Der Höhenplan beschreibt Höhenveränderungen im Straßenverlauf und wird zunächst vernachlässigt. Der Querschnitt der Strasse, also ihre Breite im Verhältnis zur Fahrzeugbreite, ist bestimmend für den Fehlerraum im Tracking, sie wird die erlaubte Abweichung von der Trackingspur definieren und muss daher ebenfalls gut durchdacht werden.

Die Ausstattung der Strasse mit Elementen wie Mittelstreifen, Randstreifen und der Kennzeichnung von Streckenteilen dient den Verkehrsteilnehmern als Orientierung und wird diese Funktion auch in den Versuchen übernehmen.

Jeder Lageplan lässt sich als Kombination von drei Konstruktionselementen abbilden - Gerade, Kreisbogen und Übergangsbogen zwischen beiden.

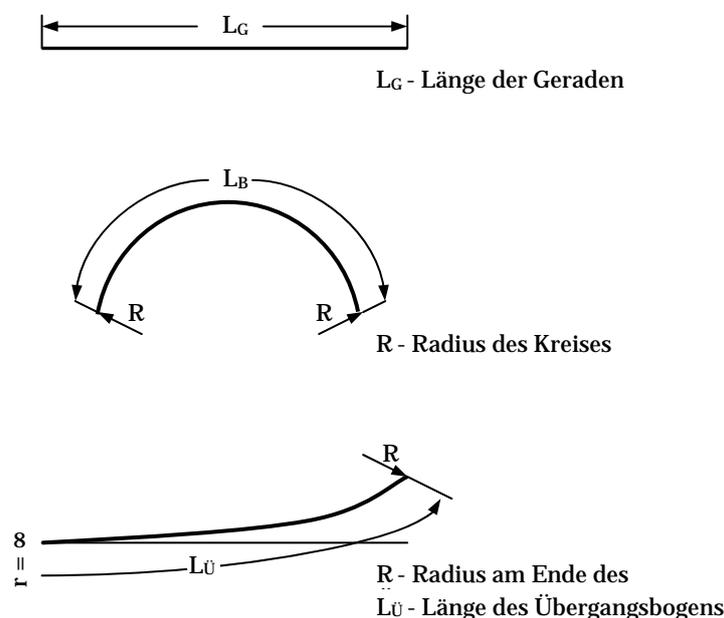


Abb.4: Konstruktionselemente des Lageplans nach Wiehler, 1996

Für die Parametervariation der Konstruktionselemente kommen Kreisradius  $R$ , Bogenlänge  $L_E$  und der Öffnungswinkel in Frage (vgl. Wiehler, 1996).

Nun ist ein Anspruch an Versuchsmaterial, dass es sich so genau beschreiben lässt, dass auch nach einer Untersuchung noch rekonstruierbar ist, welches die genauen Versuchsbedingungen waren. Gerade und Kreisradius stellen keine große Herausforderung dar, auch die Bogenlänge ist noch gut darstellbar.

Übergangsbögen aber sind so kompliziert exakt (mathematisch) zu beschreiben – was für die Verwendung in einer wissenschaftlichen Untersuchung aber unabdingbar ist – dass zunächst versucht wird, auf sie zu verzichten.

Damit bleiben als Konstruktionselemente für die Versuchsstrecke Gerade und Kreisbogen übrig. Als Ausgangspunkt dienen die beiden Extreme der genannten Konstruktionselemente – Allee und Kreisverkehr – wobei angenommen wird, dass sich alle anderen relevanten Formen irgendwo dazwischen befinden müssen.

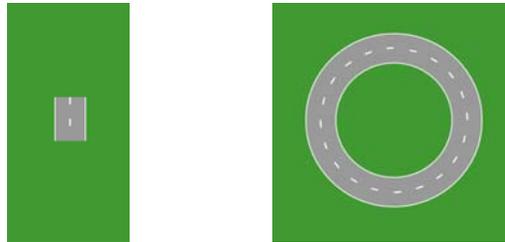


Abb.5: Allee und Kreisverkehr

Daraus ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten:



Abb.6: Kombination aus Gerade und Kreisverkehr

Die Überlegung scheint noch etwas kurz zu greifen. Dem soll ein kleiner Kunstgriff abhelfen:

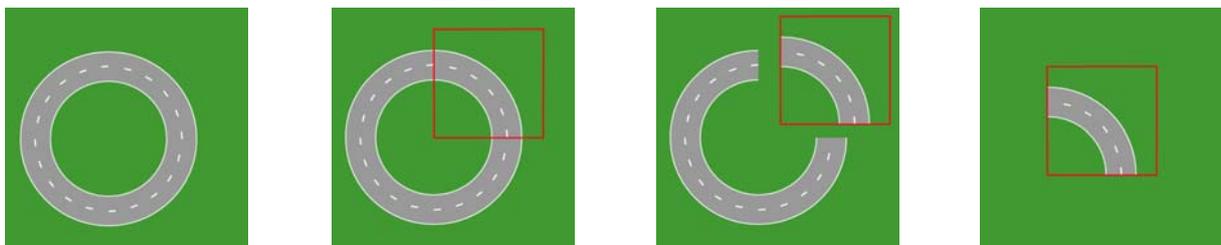


Abb.7: kleiner Kunstgriff

Damit stehen nun zwei vielversprechende Elemente mit Potential für mehr Kombinationsmöglichkeiten zur Verfügung, die als Grundlage der Versuchsstrecke dienen werden:

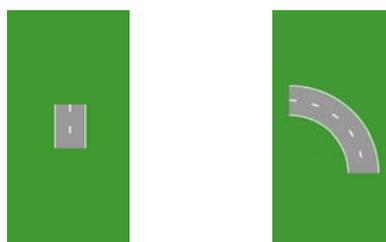


Abb.8: Ausgangselemente der Versuchstrecke

Die zu Grunde liegende Maßzahl für die Elemente im Original sind 90 Pixel. Die Größe aller sichtbaren Bestandteile lässt sich gut ins Verhältnis setzen zu 90:

- Gerade: 60 Px x 30 Px
- Kreisbogen: Viertel eines Kreises vom Durchmesser 360 Px
- Mittelstreifen: 3 Px x 15 Px
- Breite des Randstreifens: 3 Px

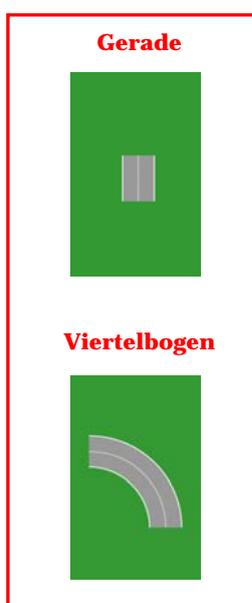
Die Straßenbreite beträgt im Original 60 Pixel und ist damit gemäß der Straßenbauaufstregel „Straßenbreite = doppelte Fahrzeugbreite“ ausgelegt für ein Fahrzeug von 30 Pixel Breite.

Für die Farbwahl wurde darauf geachtet, dass die Kontraste zwischen den verschiedenen Elementen groß genug sind, um eine gute optische Unterscheidung zu gewährleisten und die Farben auch bei längerer Betrachtung nicht zu einer übermäßigen Belastung der Augen führen.

### 4.3.3 Gestaltung

Bei der Gestaltung der Elemente für die Versuchsstrecke wurden die Überlegungen zu den Entwurfsgrundlagen konsequent umgesetzt. Auf der Basis von 2 Gestaltungsprinzipien wurden 2 Ausgangselemente systematisch variiert:

#### 2 Ausgangselemente



#### 2 Gestaltungsprinzipien

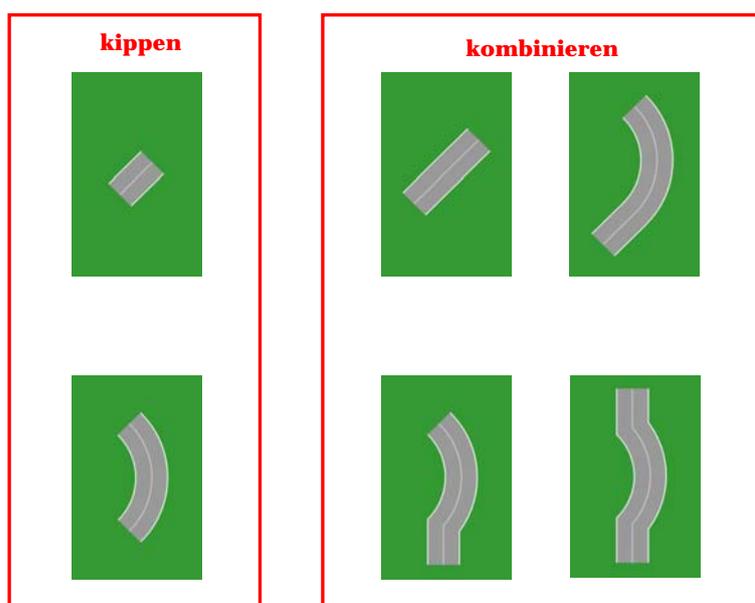


Abb.9: Gestaltungsprinzipien

Das erste Gestaltungsprinzip ermöglicht eine Variation der Schwierigkeit im Sinne des Tracking-Paradigmas: Bei einer gekippten Geraden ist für eine gleiche Strecke auf der Y-Achse eine längere auf der X-Achse zurückzulegen – damit erhöht sich die Schwierigkeit. Umgekehrt ist das beim Viertelbogen, bei ihm verringert sich durch das Kippen die Strecke auf der X-Achse, die im Verhältnis zu der auf der Y-Achse in Angriff genommen werden muss – die Schwierigkeit nimmt ab.

Die Passung zwischen einzelnen Komponenten kann theoretisch erreicht werden, indem sich alle Elemente die gleichen Ansatzpunkte an Anfang und Ende teilen. Auf der untersten Gestaltungsebene stellt dies aber eine zu große Einschränkung dar, weil sich so nur Elemente verwenden ließen, die entweder alle einen waagerechten, oder alle einen schrägen Ansatz haben. Würde man versuchen, die obigen schrägen Elemente durch Beschneiden mit einem waagerechten Ansatz zu versehen, würde sie das zu stark in ihrer Form beeinträchtigen.

Abhilfe schafft hier das zweite Gestaltungsprinzip - die Kombination der Ausgangselemente.

Elemente, die nicht ohne weiteres zusammenpassen, werden fusioniert:



Abb.10: Fusion von Ausgangselementen

So wird erreicht, dass sich die Ausgangselemente problemlos und einfach zusammensetzen lassen.

Konsequent umgesetzt entsteht so ein Satz von insgesamt 18 Grundelementen, der alle denkbaren Kombinationen der beiden Ausgangselemente ermöglicht (siehe Tabelle 1).

Durch die Vorgabe solcher Verbindungen wird das Zusammensetzen von Strecken aus den Grundelementen stark vereinfacht. So muss nicht jedes Mal mühsam eine Verbindung zwischen schlecht passenden Komponenten hergestellt werden.

Tabelle 1: Übersicht der Grundelemente

Bezeichnung	Nr.	Element	Element	Nr.	Bezeichnung
G	1			2	G x 2
G schräg r	3			4	G schräg l
G x 2 schräg r	5			6	G x 2 schräg l
VB ol	7			9	VB or
VB ul	8			10	VB ur
VB schmal l	12			11	VB schmal r
VB schmal l G u	13			15	VB schmal r G u
VB schmal l G o	14			16	VB schmal r G o
VB schmal l G u G o	17			18	VB schmal r G u G o

Erklärung der Kürzel:

- G - Gerade
- VB - Viertelbogen
- l - links geneigt oder gebogen
- r - rechts geneigt oder gebogen
- o - oben angesetzt
- u - unten angesetzt

Die Grundelemente erfüllen den Anspruch der Schlichtheit, sie sind gut und relativ einfach in ihren Eigenschaften zu beschreiben, bieten andererseits aber durch Kombination miteinander soviel Vielfalt, wie sie für eine Versuchsstrecke notwendig ist.

### 4.3.4 Bauprinzip

Die Gedanken zur Gestaltung werden realisiert mit einem Konzept verschiedener Baukästen, die konsequent auf verschiedenen Stufen umgesetzt sind.

In einem Baukasten sind alle Grundelemente zusammengefasst, er stellt die einfachste Stufe dar. Kombinationen von Grundelementen, die häufiger verwendet werden sollen, werden als so genannte Spielbretter zusammengestellt und als Bild-Dateien gespeichert. In diesem Fall fungiert der Ordner, in dem die Spielbretter aufgehoben werden, praktisch als Baukasten auf einer höheren Stufe.

Der Baukasten mit den Grundelementen funktioniert vom Prinzip her tatsächlich so, wie man es aus der Spielkiste kennt.

Ermöglicht wird das durch eine Besonderheit des Graphikprogrammes Photoshop. Graphiken lassen sich aus mehreren anderen Graphiken zusammenstellen. Dabei wird jeder Graphik eine eigene Bildebene zugewiesen – so als wären sie auf transparenten Folien abgebildet.

In einer Graphik – die als Baukasten Grundelemente bezeichnet wird – werden so 18 Grundelemente wie auf einem Spielfeld angeordnet und gespeichert.

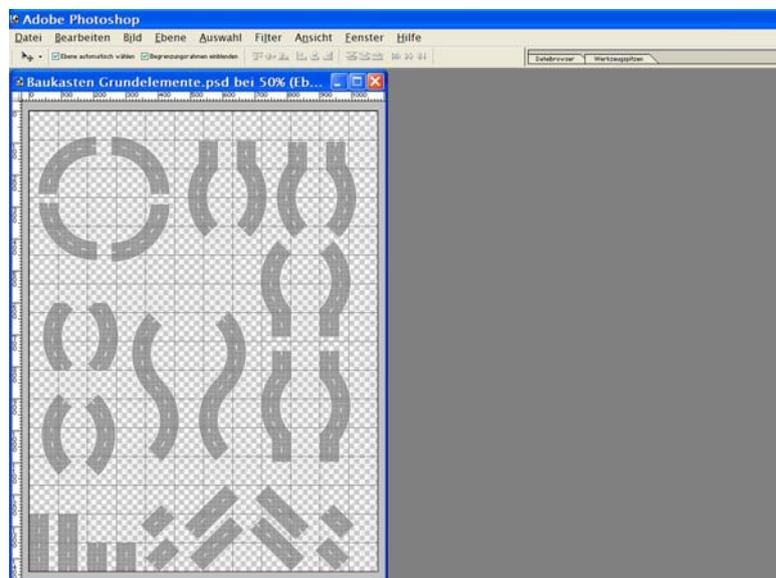


Abb.11: Baukasten Grundelemente

Im Folgenden wird dargestellt, wie die Zusammenstellung einer neuen Strecke für ein Spielbrett praktisch funktioniert. Eine Übersicht über die bisher erstellten Spielbretter bietet der Bildanhang.

Um einen neuen Streckenteil zusammenzusetzen, wird zunächst eine neue Graphik erstellt. Dieser wird die gewünschte Größe und die Farbe des Hintergrundes zugewiesen.

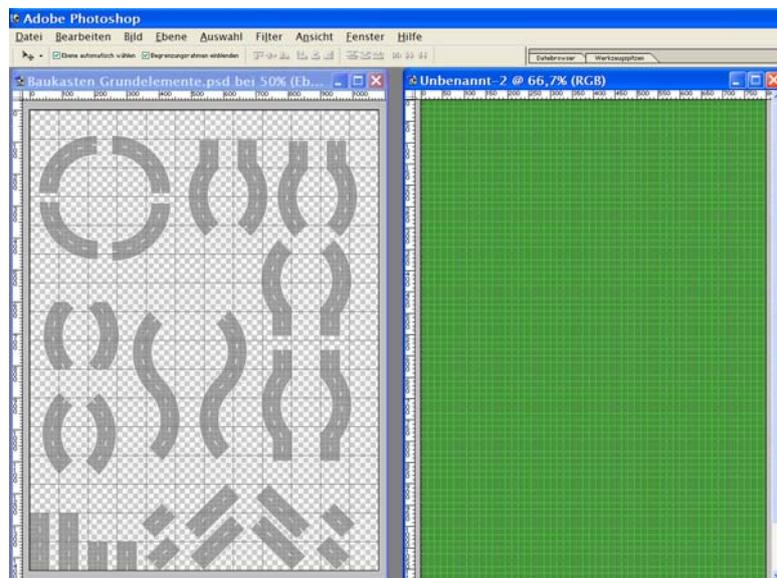


Abb.12: Streckenerstellung Schritt 1

Als nächstes werden die gewünschten Elemente mit dem einfachen Verfahren des Klicken + Ziehen auf den neuen Streckenteil gezogen:

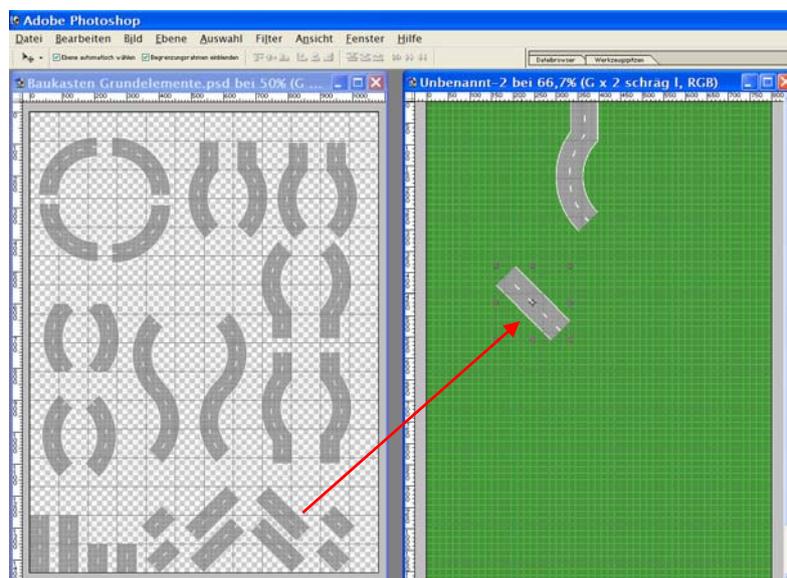


Abb.13: Streckenerstellung Schritt 2

Die Elemente auf den virtuellen Folien lassen sich dort so lange gegeneinander verschieben, bis sie die gewünschte Position zueinander und zum Bildhintergrund einnehmen. Ist ein Spielbrett fertig, muss es nur noch in einem geeigneten Bildformat gespeichert werden.

Um die Kombination der einzelnen Spielbretter miteinander zu gewährleisten, muss darauf geachtet werden, dass jeweils das oberste und das unterste Bildelement ihren Abschluss am Bildrand an der gleichen vertikalen Position haben.

## **5 Methodik der Datengewinnung der empirischen Untersuchung**

In den vorangegangenen Teilen dieser Arbeit wurden Überlegungen zur Kontrolle und Manipulation von Schwierigkeitsgraden dargelegt, welche in die Entwicklung einer Versuchsstrecke eingeflossen sind. Die zwei Hauptgedanken wurden in zwei Forschungshypothesen gefasst, die nun empirisch überprüft werden.

Die Schwierigkeit der Strecke wird auf zwei Ebenen operationalisiert – einer objektiven und einer subjektiven. Auf der objektiven Ebene werden Schwierigkeitsmaße wie Geschwindigkeit und Fehler bestimmt, auf der subjektiven die individuell empfundene Belastung während der Aufgabenbewältigung. Ergänzend werden soziodemographische Daten zur Kontrolle von Stichprobeneffekten sowie Vorerfahrungen im Umgang mit PC und Maus erfasst.

### **5.1 Objektive Daten – experimentelle Untersuchung**

Bei der Untersuchung handelt es sich um ein PC-basiertes Tracking-Experiment in Form einer Fahrsimulation. Ziel ist weder die Abbildung realer Fahrbedingungen oder lebens echter Situationen, wie dies sonst bei Fahrsimulationen üblich ist, noch um eine echte Tracking-Fragestellung. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen nicht auf reale Fahrsituationen übertragen werden und es sollen auch keine Schlussfolgerungen zu Folgebewegungen gezogen werden. Es geht um die Erprobung der Versuchsstrecke und der Gedanken zur Bestimmung von deren Schwierigkeitsgraden.

Mit der experimentellen Untersuchung werden systematisch Leistungsparameter erfasst, um bei konstantem Anspruch durch die Aufgaben von der Leistung der Versuchspersonen Rückschlüsse auf die Schwierigkeit der Aufgaben zu ziehen.

#### **5.1.1 Experimentelles Design**

In der experimentellen Untersuchung wird die Wirkung zweier Parameter untersucht: Kurvenverlauf/ Streckenführung und Voraussicht.

Die systematische Variation der Streckenführung erfolgt über die Zusammensetzung der Versuchsstrecke, die für alle Versuchspersonen identisch ist. Die Untersuchung der Effekte erfolgt mit einem within-group-design. Eine exakte Beschreibung der Versuchsstrecke erfolgt im Zuge der Beschreibung der unabhängigen Variablen später in diesem Kapitel.

Für die Variation der Voraussicht wurde zusätzlich ein between-group-design mit Versuchs- und Kontrollgruppe gewählt. Zwischen den Gruppen variiert wird die Position des Fahrzeuges auf der Bildschirmvertikalen.

Der Versuch besteht aus zwei Teilen, die jeweils noch einmal untergliedert sind (siehe Abb. 14). Im ersten Versuchsteil befindet sich das Fahrzeug für alle Personen im unteren Bildschirmbereich. Im zweiten Teil findet die Versuchsgruppe das Fahrzeug höher positioniert vor – bei ca. zwei Dritteln des Bildschirmes von unten aus gesehen. Für die Teilnehmer aus der Kontrollgruppe bleibt diese Bedingung wie im ersten Versuchsteil, um Zeiteffekte im Laufe des Versuches - wie zum Beispiel Lernen oder Veränderungen der Konzentration – kontrollieren zu können.

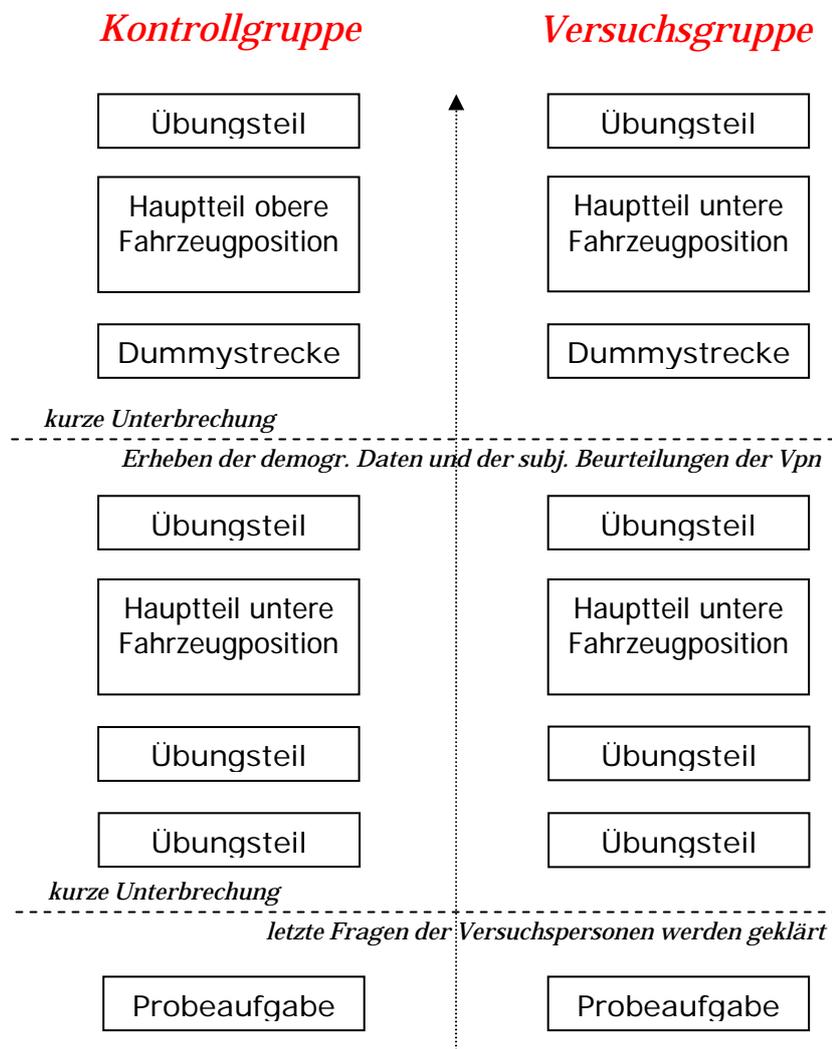


Abb.14: Versuchsplan

Die Graphik liest sich nach der Bewegung des Fahrzeuges im Versuch in Pfeilrichtung von unten nach oben.

---

Die einzelnen Streckenabschnitte sind für die Teilnehmer am Experiment nicht als solche erkennbar – die Aufgabe besteht für sie darin, auf einer durchgehenden Strecke bis ins Ziel zu fahren.

Vor dem eigentlichen Versuch bekommen die Versuchspersonen mit einer nicht bewerteten Probeaufgabe die Gelegenheit, sich mit der Steuerung des Fahrzeuges vertraut zu machen. Die hier – nach ihrer Position am Anfang der Versuchsstrecke - Übungsteil genannten Streckenteile sind immer gleich. Sie dienen dem Vergleich von Leistungen im Verlauf des Experimentes. Sie ermöglichen die Analyse von Lerneffekten oder Veränderungen im Konzentrationsvermögen.

Die Versuchspersonen erhalten eine Geschwindigkeits-Genauigkeits-Instruktion – sie werden aufgefordert, einerseits so genau wie möglich auf der Mittellinie entlang zu fahren und nicht die Straßenrandbegrenzungen zu überfahren, aber andererseits auch so schnell wie möglich zu fahren. Es wird darauf hingewiesen, dass der Versuch nicht unterbrochen werden soll.

Der Versuch dauert ca. 20 Minuten, davon fallen ungefähr 7-8 Minuten auf den ersten Versuchsteil und 5 Minuten auf den zweiten.

### **5.1.2 Unabhängige Variablen**

In dieser Untersuchung werden Kurvigkeit/Streckenführung und Voraussicht als unabhängigen Variablen systematisch variiert.

Die Variation der Streckenführung erfolgt so, dass sich gemäß den Überlegungen zum Entwurf der Strecke in Kapitel 4.2 deutliche Unterschiede in den Schwierigkeitsgraden zeigen sollten. Die genaue Beschreibung der Versuchsstrecke findet sich in Kapitel 5.4.1.

Ein wichtiger Faktor, welcher die Auswahl der Kombination von Grundelementen für die Spielbretter bestimmt, sind Wechsel zwischen Rechts- und Linkskurven. Von diesen hängen die beschriebenen zu manipulierenden Vorlageneigenschaften wie Zyklizität versus Unregelmäßigkeiten im Richtungswechsel ab.

Ein weiterer Faktor sind Amplitudenwechsel. Hohe Frequenzen von Richtungswechseln erhöhen die Anforderungen an die Aufmerksamkeit und erhöhen damit die Schwierigkeit. Unregelmäßige und immer neue Kombinationen von Wechselvarianten neutralisieren Lerneffekte und verhindern so „vorausschauendes Fahren“.

Die Voraussicht wird in zwei Stufen operationalisiert. Bei Variante 1 befindet sich das Fahrzeug unteren Bereich – bei 700 Pixeln vom oberen Bildschirmrand aus gesehen. In der zweiten Variante zu Beginn des oberen Drittels des Bildschirmes – bei 300 Pixeln.

Dabei ist zu beachten, dass im Grunde nicht das Fahrzeug fährt, sondern die Strecke. Die Position des Fahrzeuges auf der Vertikalen ist fest, bewegt wird es horizontal auf der X-Achse.

### **5.1.3 Abhängige Variablen**

Wie im Theorieteil bereits dargelegt, sind die zwei wichtigsten Aspekte menschlicher Leistung Genauigkeit und Schnelligkeit der Aufgabendurchführung.

Die Bestimmung der Genauigkeit findet in dieser Arbeit auf zwei Arten Anwendung: Als Richtigkeit der Aufgabenerledigung und in einem engeren Wortsinn.

Die Richtigkeit der Aufgabenerledigung wird auf die Aufforderung bezogen, beim Fahren den Fahrbahnrand nicht zu übertreten und in drei Stufen erfasst:

Befindet sich das zu steuernde Fahrzeug auf dem Bildschirm instruktionsgemäß zu hundert Prozent auf der Straße, gilt dieser Aspekt der Steuerungsaufgabe als fehlerfrei erfüllt. Überfährt das Fahrzeug die Straßenrandbegrenzung, befindet sich aber noch bis zu 50% seiner Fläche auf der Straße, so wird diese Übertretung einer ersten Fehlerkategorie zugeordnet, die hier als Fehler 1 bezeichnet wird, kurz F1. Verlässt das Fahrzeug die Straße zu mehr als 50% seiner Fläche oder sogar ganz, wird dies in einer zweiten Fehlerkategorie erfasst, dem Fehler 2 oder kurz F2.

Aus beiden Fehlerkategorien leiten sich je zwei abhängige Variablen ab, die im Versuchsverlauf kontinuierlich erfasst und den einzelnen Elementen jeweils nach der laufenden Nummer ihrer Anordnung in der Versuchsstrecke zugeordnet werden.

Zum einen wird die Anzahl der Übertretungsereignisse erfasst, die mit den Variablen Anzahl Fehler 1 (AnzF1) und Anzahl Fehler 2 (AnzF2).

Theoretisch wäre es denkbar, dass eine Versuchsperson an einer Stelle der Strecke die Fahrbahn verlässt und gegen die Instruktion einfach außerhalb der Strasse geradeaus bis ins Ziel fährt. Würde nur die Anzahl der Fehlerereignisse gezählt werden, stünde bei diesem Beispiel nur ein einziges Fehler-2-Ereignis im Protokoll – eine sehr ungünstige Wiedergabe des tatsächlichen Fahrverlaufes. Um zu einer genaueren Erfassung zu kommen, wird daher zusätzlich auch die Zeit erfasst, während der ein Fehlerereignis F1 oder F2 vorliegt. Diese

Zeiten werden getrennt nach Fehlerkategorie ebenfalls jedem Element nach der laufenden Nummer zugeordnet und ergeben die Variablen Zeit der Übertretung nach Fehlerkategorie 1 (ZeitF1) und Zeit der Übertretung nach Fehlerkategorie 2 (ZeitF2).

Für ein zweites Maß wird die Genauigkeit der Aufgabendurchführung im Wortsinn bestimmt: Es wird erfasst, in wie weit die Versuchspersonen der Instruktion nachkommen, möglichst genau auf der Mittellinie zu fahren, bzw. um wie viel sie von dieser abweichen.

Die Mittellinie der Strasse wird als Ideallinie gesetzt. Diese lässt sich darstellen als Abfolge von Punkten, die sich durch ihre Position auf der X-Achse und auf der Y-Achse des Bildschirms beschreiben lassen.

Im Versuch kann jeder Position, die das Fahrzeug tatsächlich auf der Strecke einnimmt, ein Wert zugeordnet werden, der die ideale Position repräsentiert. Die Abweichung  $E_i$  von der Ideallinie lässt sich daraus unter Zuhilfenahme der Methode der kleinsten quadratischen Abweichung (vgl. Bortz, 1999) wie folgt bestimmen:

$$E_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (P_{(ij)} - T_j)^2}$$

wobei  $P_{(ij)}$  den Wert für die tatsächliche Position auf der X-Achse repräsentiert und  $T_{(j)}$  den als ideal angenommenen. Bei absoluter Übereinstimmung der gefahrenen Linie mit der Ideallinie ist  $P_{(ij)} = T_{(j)}$  und  $E_i = 0$ .

$E_i$  entspricht dem in Tracking-Untersuchungen sehr häufig eingesetzten root mean squared error RSME (vgl. van der Meulen et al., 1990). Dieses Fehlermaß der Abweichung von der Ideallinie wird in dieser Untersuchung als Variable  $F_{sq}$  bezeichnet.

Zur Schnelligkeit der Aufgabendurchführung als zweitem wichtigem Aspekt menschlicher Leistung gibt es folgende Überlegungen:

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich ein Fahrzeug auf einer kurvigen Strecke bewegt, beeinflusst ebenfalls maßgeblich die Schwierigkeit die Fahraufgabe. Höhere Geschwindigkeit erfordert eine schnellere Reaktion und Wahrnehmung der Streckenführung und erhöht demnach die Schwierigkeit. Unter einer Instruktion, welche bei aller Genauigkeit eine möglichst hohe Geschwindigkeit verlangt, zeigen demnach Absenkungen der Geschwindigkeit höhere Ansprüche an das fahrerische Können an. Analog dazu werden in dieser Untersuchung Geschwindigkeitsänderungen als Indikatoren für Änderungen in der

---

Schwierigkeit der Strecke betrachtet. Als fünfte unabhängige Variable festgelegt wird die Geschwindigkeit pro Element ( $V_{\text{Elem}}$ ).

Damit ergeben sich für diesen Versuch die folgenden abhängigen Variablen:

- Anzahl Fehler 1 – AnzF1
- Zeit für Fehler 1 – ZeitF1
- Anzahl Fehler 2 – AnzF2
- Zeit für Fehler 2 – ZeitF2
- Abweichung von der Ideallinie – Fsqr
- Geschwindigkeit pro Element –  $V_{\text{Elem}}$

Für die Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen und der zu bestimmenden Schwierigkeit der Versuchsstrecke können die Forschungshypothesen nun spezifiziert werden:

Da in der Instruktion neben möglichst zügiger Geschwindigkeit auch möglichst große Genauigkeit beim Fahren gefordert wird, ist zunächst zu erwarten, dass Versuchspersonen die Geschwindigkeit reduzieren, wenn die Schwierigkeit der Fahraufgabe steigt. Geschwindigkeitsreduktionen zeigen Wirkung, bis das individuelle Fähigkeitslimit einer Versuchsperson erreicht ist. Darüber steigen die Fehlerwerte deutlich an.

ad H1.1: Die Geschwindigkeit sinkt mit steigender Schwierigkeit der Strecke.

ad H1.2: Die Fehler F1 und F2 treten bei mäßiger Erhöhung der Schwierigkeit der Strecke weder signifikant häufiger auf, noch beanspruchen sie signifikant mehr Zeit.

ad H1.3: Bei hohem Schwierigkeitsgrad der Strecke erhöhen sich Anzahl und Zeit der Fehler F1 und F2.

ad H1.4: Die Abweichung von der Ideallinie ändert sich bei mäßiger Erhöhung der Schwierigkeit der Strecke nicht signifikant.

ad H1.5: Bei hohem Schwierigkeitsgrad erhöht sich der Betrag der Abweichung von Ideallinie signifikant.

Die abhängigen Variablen werden parallel zu den Untersuchungen mittels Logfiles erfasst.

### **5.1.4 Moderatorvariablen**

Als Moderatorvariablen kommen in dieser Untersuchung Faktoren in Frage, die sich aus den Besonderheiten der Stichprobe ergeben. Die Untersuchungsergebnisse könnten systematisch beeinflusst werden vom Alter der Probanden, ihrem Geschlecht und dem Umstand, dass einige Versuchsteilnehmer Leistungssportler sind und einige nicht.

Da die Stichprobe mit 34 Versuchspersonen relativ klein ist für eine empirische Untersuchung und einzelne Personen dadurch einen spürbaren Einfluss auf die Gesamtergebnisse haben können, ist es besonders wichtig, diesen individuellen Einfluss zu beachten.

## **5.2 Subjektive Daten - Fragebogenerhebung**

Die Operationalisierung des subjektiven Schwierigkeitsempfindens der gestellten Aufgaben bezieht sich auf das Verständnis von Beanspruchung nach Pfendler, C.; Pitrella, F.D. & Wiegand, D., (1995) und erfolgt über den NASA-Task Load Index.

### **5.2.1 NASA Task Load Index (NASA-TLX)**

Der NASA-TLX (vgl. Giesa, 2003) wurde ausgewählt, weil er sich als sensitiv für die Messung von Veränderungen der Beanspruchung erwiesen hat, wie sie für diese Untersuchung zu erwarten sind. Er stellt in der Ingenieurpsychologie ein etabliertes Verfahren zur Messung von Beanspruchung dar, welches in Bezug auf die Gütekriterien den Ansprüchen an ein diagnostisches Instrument vollauf genügt.

Der NASA-TLX ist ein Ratingverfahren, welches aufgabenbezogene subjektiv empfundene Beanspruchung auf sechs Dimensionen misst:

- Geistige Anforderungen
- Körperliche Anforderungen
- Zeitliche Anforderungen
- Leistung
- Anstrengung
- Frustrationsniveau

Die sechs Subskalen können in drei Gruppen aufgeteilt werden:

Die *Merkmale der Aufgabe* werden in den Subskalen geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen erfasst. *Verhaltensmerkmale* werden über die Subskalen Leistung und Anstrengung gemessen. *Individuelle Merkmale* werden über die Subskala Frustration ermittelt.

Alle sechs Subskalen sind bipolar angelegt, wobei die Endpunkte der Skalen mit verbalen Deskriptionen versehen sind. Die Skalen umfassen 20 Stufen, die mit jeweils 5 Punkten bewertet werden. Damit liegt der NASA-Task Load Index zwischen 0 und 100 und gibt pro Skala die gemessene Beanspruchung in Prozent wieder.

...

#### Geistige Anforderungen

Wieviel geistige Anstrengung war bei der Informationsaufnahme und bei der Informationsverarbeitung erforderlich (z.B. Denken, Entscheiden, Rechnen, Erinnern, Hinsehen, Suchen, ...)? War die Aufgabe leicht oder anspruchsvoll, einfach oder komplex, erforderte Sie hohe Genauigkeit oder war sie fehlertolerant?



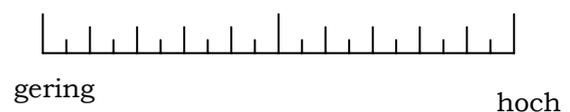
#### Körperliche Anforderungen

Wieviel körperliche Aktivität war erforderlich (z.B. ziehen, drücken, drehen, steuern, aktivieren, ...)? War die Aufgabe leicht oder schwer, einfach oder anstrengend, erholsam oder mühselig?



#### Zeitliche Anforderungen

Wieviel Zeitdruck empfanden Sie hinsichtlich der Häufigkeit oder dem Takt, mit dem die Aufgaben oder Aufgabenelemente auftraten? War die Abfolge langsam und geruhsam oder schnell und hektisch?



...

---

### Abb.15: Auszug aus dem NASA-TLX

Die Originalversion des NASA-TLX sieht vor, in einem ersten Schritt von den Probanden mittels Paarvergleich für die betreffende eine Gewichtung der sechs Dimensionen vorzunehmen. Dieses Gewichtungsverfahren wurde allerdings von verschiedenen Autoren kritisiert.

So berichtet Pfendler (1991), dass mit einer deutschen Version des NASA-TLX über einen ungewichteten Gesamtwert der sechs Subskalen sowohl eine bessere Differenzierung, als auch eine höhere Reliabilität als mit dem gewichteten Gesamtwert erzielt wurden. Auch konnte im Gegensatz zu den Annahmen der Autoren des NASA-TLX keine Zunahme der Varianz zwischen den Versuchspersonen beobachtet werden – für gewichtete und ungewichtete Beanspruchungswerte werden Korrelationen von  $r = 0.94$  berichtet.

Da die zunehmenden Zweifel unter Fachautoren – Nygren (1991) empfiehlt sogar explizit das Ignorieren des Gewichtungsverfahrens – den zusätzlichen Aufwand durch die Gewichtung nicht gerechtfertigt scheinen lassen, wurde entschieden, in der vorliegenden Untersuchung diesen Teil des Verfahrens weg zu lassen.

Um eine ungewichtete mittlere Beanspruchung über alle Skalen zu erhalten, werden die Werte aller sechs Skalen addiert und durch die Anzahl der Skalen geteilt. Damit werden die Dimensionen gewahrt, welche die Ergebnisse des NASA-TLX *mit* einer vorgenommenen Wichtung ergeben würden. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen mit dem NASA-TLX wird somit gewährleistet.

### **5.3 soziodemographische Daten und Erfassung von Vorerfahrungen**

Der NASA-TLX wurde ergänzt um die Erhebung soziodemographischer Daten und Fragen zu Erfahrungen im Umgang mit PC und Maus.

Ein Auszug aus dem Fragebogen zu diesen Angaben ist in Abb.16 dargestellt. Der vollständige Fragebogen findet sich in Anhang E.



### 5.3.1 Charakterisierung der Stichprobe

Die Gewinnung der Versuchspersonen erfolgte nach dem Prinzip der anfallenden Stichprobe. Für den größten Teil der Untersuchung gilt dies im wahrsten Sinne des Wortes. In zwei Einrichtungen des Leistungssportes in Halle an der Saale wurde jeweils ein kleiner Raum zur Verfügung gestellt mit der Möglichkeit, dort trainierende Leistungssportler und Mitarbeiter der Sportzentren zur spontanen Teilnahme an dem Experiment zu gewinnen. Dies gelang gut. Später wurde die Stichprobe aufgefüllt durch weitere Personen, die nichts mit Sport zu tun haben. Das ursprüngliche Verhältnis von Leistungssportlern zu Nicht-Sportlern betrug 15 zu 19, nach einer notwendigen Bereinigung der Stichprobe glich es sich noch etwas an auf 15 zu 17.

Die zufällige Zuteilung der Versuchspersonen zu Versuchs- oder Kontrollgruppe erfolgte über die Versuchspersonennummer. Die Eingabe einer ungeraden Nummer hatte das automatische Öffnen der Programmversion für die Versuchsgruppe zur Folge, die Eingabe einer geraden Nummer öffnete die Versuchsform für die Kontrollgruppe.

Dieses Aufteilungsprinzip hatte in Verbindung mit der spontanen Findung von Teilnehmern an der Untersuchung die Folge, dass keine Gleichverteilung von Leistungssportlern in VG und KG erreicht wurde. Das Verhältnis beträgt nach der Bereinigung 7 Leistungssportler/ 10 Nicht-Sportler für die Versuchsgruppe und 8 Leistungssportler/ 7 Nicht-Sportler für die Kontrollgruppe.

Als Ausschlusskriterien wurden nicht korrigierte Sehschwächen, Schwierigkeiten in der Motorik durch Unfall oder degenerative Erkrankung, und Einwirkung von Drogen während der Durchführung festgelegt.

Für das Alter wurde eine untere Grenze von nicht jünger als 17 Jahre und eine obere von nicht älter als 60 Jahre gesetzt, um Alterseffekte in den motorischen und sensorischen Fähigkeiten zu vermeiden. Der Altersdurchschnitt der untersuchten Stichprobe liegt bei 30,3 Jahren bei einem Minimum von 17 und einem Maximum von 60 Jahren.

An der Untersuchung nahmen 19 Männer und 15 Frauen teil.

Die genaue Zusammensetzung der Stichprobe ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Charakterisierung der Stichprobe

VG/KG	Vpn Nr.	Alter	Geschlecht	Schulabschluss	Beruf	Leistungssportler
VG	1	24	männlich	Abitur	Student Sport	ja
VG	3	17	männlich	Abiturient	Sportschüler	ja
VG	5	26	männlich	Abitur	Sportsoldat	ja
VG	7	47	weiblich	Abitur	Sportlehrer	nein
VG	9	42	weiblich	Abitur	Pharmazie Ing.	nein
VG	11	17	weiblich	Abiturient	Sportschüler	ja
VG	13	58	männlich	Abitur	Physik Prof.	nein
VG	15	22	weiblich	Abitur	Sportsoldat	ja
VG	17	27	weiblich	Abitur	Sportlehrer	ja
VG	19	22	weiblich	Abitur	Student Sport	ja
VG	21	26	männlich	Abitur	Student Lehrer	nein
VG	23	36	männlich	Realschule	KFZ Mechaniker	nein
VG	25	30	männlich	Realschule	Tischler	nein
VG	27	32	männlich	Realschule	Tischler	nein
VG	29	25	männlich	Realschule	Maler	nein
VG	31	28	weiblich	Abitur	Student Psy	nein
VG	33	26	weiblich	Abitur	Student Psy	nein
KG	2	23	weiblich	Abitur	Student Sport	ja
KG	4	17	weiblich	Abiturient	Sportschüler	ja
KG	6	27	männlich	Abitur	Sportlehrer	ja
KG	8	23	weiblich	Abitur	Student Psy	ja
KG	10	18	männlich	Abiturient	Sportschüler	ja
KG	12	48	männlich	Abitur	Zahnarzt	nein
KG	14	49	weiblich	Abitur	Sportlehrer	nein
KG	16	28	männlich	Abitur	Sportsoldat	ja
KG	18	19	männlich	Abitur	Sportschüler	ja
KG	20	25	weiblich	Abitur	Sportlehrer	ja
KG	22	46	männlich	Abitur	Sportlehrer	nein
KG	24	60	weiblich	Realschule	Hebamme	nein
KG	26	28	männlich	Realschule	Tischler	nein
KG	28	23	männlich	Hauptschule	keiner	nein
KG	30	38	männlich	Realschule	Holzgestalter	nein
KG	32	22	weiblich	Hauptschule	Verkäuferin	nein
KG	34	31	männlich	Abitur	Fahrlehrer	nein

---

## 5.4 Ablauf der empirischen Untersuchung

Die Untersuchung wurde jeweils in einem ruhigen, störungsfreien Raum durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass keine Störungen durch Telefone auftraten – die Versuchspersonen wurden gebeten, ihre Handys für die Dauer der Untersuchung auszuschalten.

Auch wenn die Untersuchung zum Teil in enger Abfolge verlief, war jeweils nur eine Versuchsperson anwesend, um Ablenkung durch Zuschauer zu vermeiden.

Vor Beginn jeder Untersuchungseinheit wurde durch Eingabe der Versuchspersonennummer die entsprechende Programmvariante für Versuchs- oder Kontrollgruppe gestartet. So war jede Versuchsperson mit der gleichen Ausgangssituation konfrontiert: der Instruktion für die Probeaufgabe.

Als erstes bekamen die Versuchspersonen eine kurze mündliche Einweisung in Versuchszweck und Versuchsablauf. Als Versuchszweck wurde der Test einer Simulationsumgebung angegeben, die später zur Bearbeitung von Forschungsfragen eingesetzt werden soll. Bei der Erläuterung des Versuchsablaufes wurde explizit darauf hingewiesen, dass die Durchführung der Aufgaben durch nichts unterbrochen werden soll.

Die Teilnehmer konnten nach dem Lesen und Schließen der Instruktion den Versuch durch Anklicken der Steuerungseinheit auf dem Bildschirm selbstständig starten.

Mit Hinweis darauf, dass die erste Aufgabe nur zur Gewöhnung an die Steuerung dient und noch nichts gemessen oder bewertet wird, wurde den Versuchspersonen nun die Handhabung von Mouse und Steuerungseinheit auf dem Bildschirm erklärt. Das Ausprobieren der Steuerung im Laufe der Probeaufgabe wurde durch paralleles Feedback durch die Versuchsleiterin unterstützt.

Nach dem Erreichen der Zielmarke der Probeaufgabe wurde den Versuchspersonen freigestellt, ob sie noch einmal üben oder gleich mit dem offiziellen ersten Versuchsteil beginnen.

Wurde für den Start des Experimentes entschieden, wurde die Probeaufgabe durch die Versuchsleiterin geschlossen, wodurch sich automatisch die Instruktion für den ersten Versuchsteil öffnete.

Nach dem Lesen und Schließen der Instruktion wurden die Teilnehmer aufgefordert, eventuell vorhandene Fragen zu stellen und konnten dann durch Anklicken der Steuerungseinheit auf dem Bildschirm wieder selbstständig mit der Bearbeitung der Aufgabe beginnen. Die Absolvierung der ersten Aufgabe dauerte im Schnitt ca. 7 - 8 Minuten.

Bei Erreichen der Zielmarke für den ersten Versuchsteil öffnete sich eine Instruktion mit der Information über das Erfolgreiche Beenden der Aufgabe und dem Hinweis, sich an die Versuchsleiterin zu wenden.

Die Pause zwischen erstem und zweitem Versuchsteil diente der Erholung der Versuchspersonen und wurde zur Erhebung der demographischen Daten und des subjektiven Belastungsempfindens während der ersten Aufgabe genutzt. Dieses wird unmittelbar nach Aufgabendurchführung und nicht erst im Anschluss an die experimentelle Untersuchung erfragt, um Gedächtniseffekte wie Vergessen und Konfundierung durch den zweiten Versuchsteil zu vermeiden.

Die Durchführung des zweiten Versuchsteiles erfolgte analog zum ersten, wobei die Versuchsgruppe sich mit einer Veränderung der Fahrzeugposition auf dem Bildschirm konfrontiert sah, die Kontrollgruppe dagegen die gleichen Bedingungen wie bei der ersten Aufgabe vorfand.

Das Speichern der erhobenen Daten erfolgte automatisch mit Beendigung jeder Untersuchungseinheit.

#### **5.4.1 Aufbau der Versuchsstrecke**

Untereinheiten der Versuchsstrecke sind die Übungsteile, der Hauptteil – der in beiden Versuchsteilen der gleiche ist – und die so genannte Dummystrecke.

Die Dummystrecke fängt die Unsicherheiten auf, die beim Neueinstieg in den Versuch nach der Pause zu erwarten sind und nicht auf die Streckenführung zurück zu führen sind. Damit werden Verfälschungen der Elementstatistik vermieden.

Eine Aufstellung der Grundelemente, aus denen sich die einzelnen Spielbretter zusammensetzen, ist dem Bildanhang zu entnehmen, ebenso die bildlichen Darstellungen. Beides würde aufgrund des Umfangs an dieser Stelle die Lesbarkeit der Arbeit zu sehr beeinträchtigen.

Als übergeordnete Einheiten für die Zusammenstellung der Versuchsstrecke werden in Form der dargestellten Spielbretter feststehende Kombinationen von Grundelementen verwendet. Deren mehrfaches Auftreten im Versuchsablauf ermöglicht wiederholte Messungen. Die Abfolge der Spielbretter im Versuch ist aus Abb. 17 abzulesen.

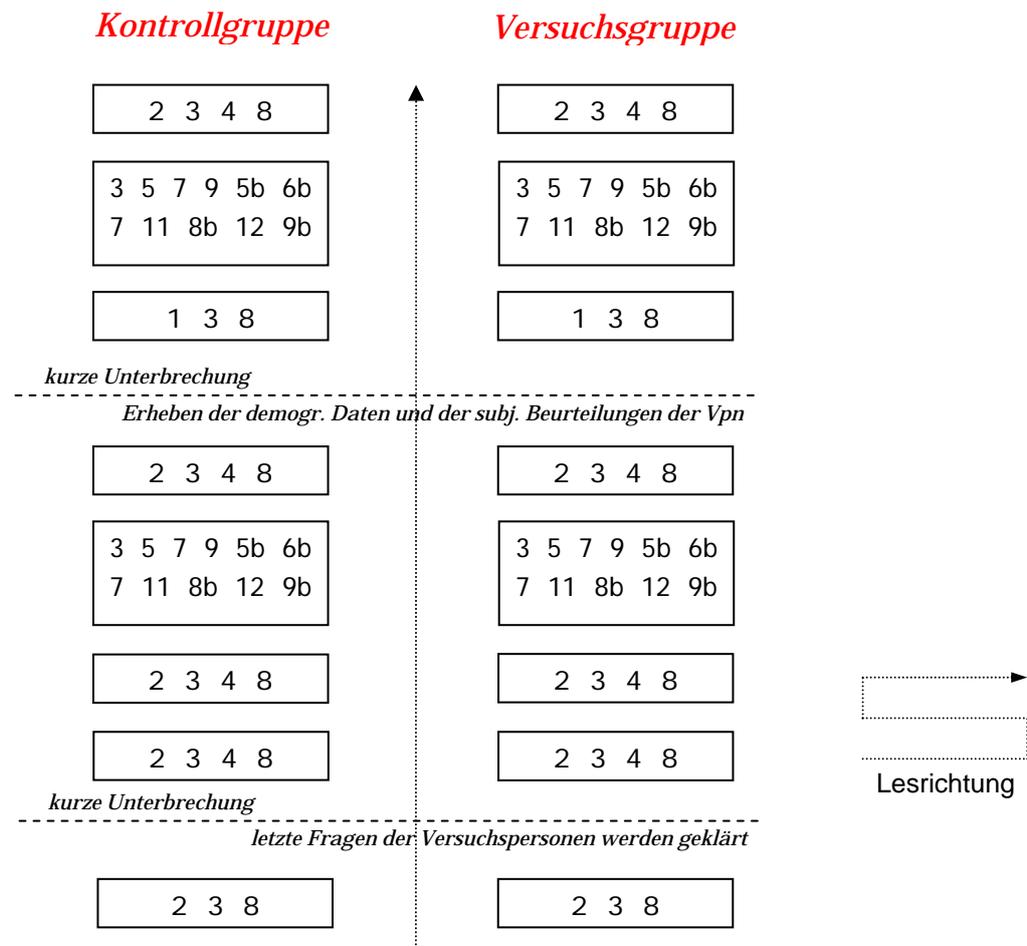


Abb.17: Aufbau der Versuchsstrecke

Für die Versuchsstrecke wurden 13 Spielbretter eingesetzt, in denen die bereits genannten Variationen umgesetzt wurden: verschiedene Amplituden und Frequenzen in unterschiedlichen Zusammensetzungen, Zyklizität vs. Unregelmäßigkeit in der Abfolge, Rechtskurven vs. Linkskurven. Einige Beispiele:

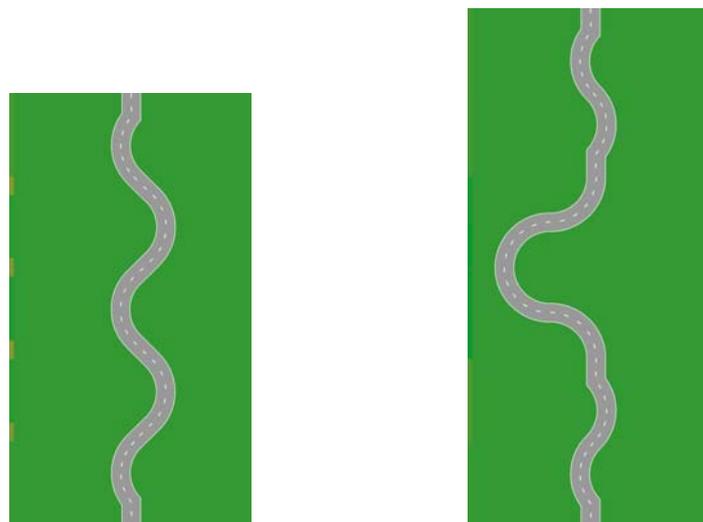


Abb.18: verschiedene Amplituden und Frequenzen

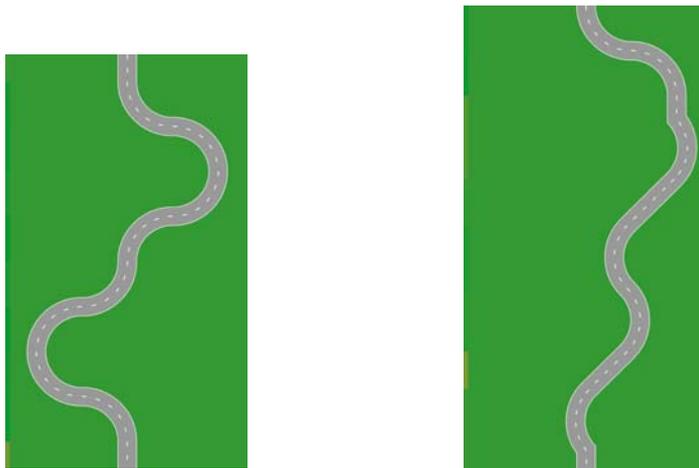


Abb.19: Zyklizität vs. Unregelmäßigkeit

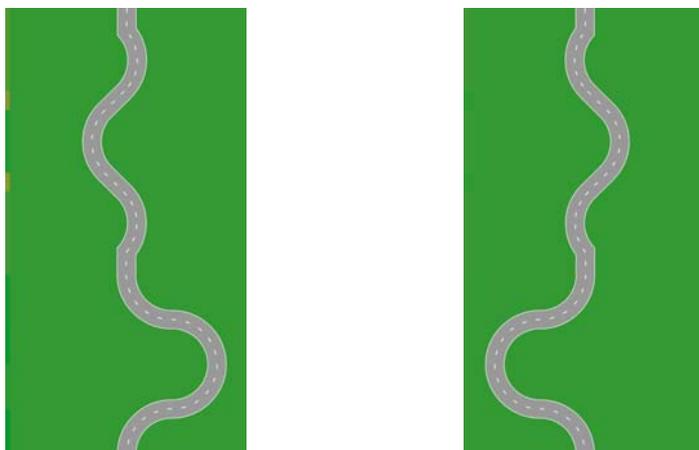


Abb.20: Rechtskurven vs. Linkskurven

## 5.4.2 Zusatzausstattung

Um die Schwierigkeit der einzelnen Grundelemente bestimmen zu können, ist es notwendig, Bewegungen des Fahrzeuges und die damit verbundenen Veränderungen der abhängigen Variablen diesen Elementen eindeutig zuordnen zu können. Dafür bestehen zwei Möglichkeiten, die im Versuch parallel nebeneinander laufen.

Die erste Möglichkeit ist technisch nicht sehr aufwendig, aber auch nicht sehr elegant. Die gesamte Strecke des Versuches lässt sich darstellen als Abfolge von Grundelementen. Jedes dieser Grundelemente besitzt eine bestimmte Länge, die bekannt ist und sich aufgrund der Stellung in der Folge der Elemente einer bestimmten Position auf der durchgehenden Y-Achse der Versuchsstrecke zuordnen lässt. Bestimmt man im Versuch die jeweilige Position des Fahrzeuges auf der durchgehenden Y-Achse der Strecke, lässt sich durch Vergleich der Y-Werte genau feststellen, welches Element gerade durchfahren wird.

Die zweite Möglichkeit greift auf Informationen zurück, die während des Versuches ermittelt werden. Das hat den Vorteil, dass nur registriert wird, was im Versuch tatsächlich passiert und nicht mit etwas verglichen wird, das theoretisch da sein müsste, praktisch aber einer unvorhergesehenen Unregelmäßigkeit unterliegen kann.

Ein Beispiel für solch eine Unregelmäßigkeit wäre die fehlerhafte Angabe eines Spielbrettes in der Sequenz, aus der sich das Programm des Versuches Informationen über die Reihenfolge der Spielbretter holt. Im Versuch würde dann ein Spielbrett auftauchen, das nicht vorgesehen ist. Eine Sensorik würde die realen Elemente erfassen, die gerade durchfahren werden. Der Fehler wäre im Nachhinein aufzudecken. Würde nur auf die Reihenfolge zurückgegriffen werden, die vorher festgelegt wurde, wäre dies nicht möglich, ein unvorhergesehenes Element würde so nicht bemerkt werden.

Wie kann nun ein Element während des Versuches erkannt werden? Zu diesem Zweck wird jedem Element ein schmaler Streifen zugeordnet, der die gleiche Länge und eine bestimmte Farbe hat. Als Maß für die Länge wird die Y-Ausdehnung des Mittelstreifens verwendet.

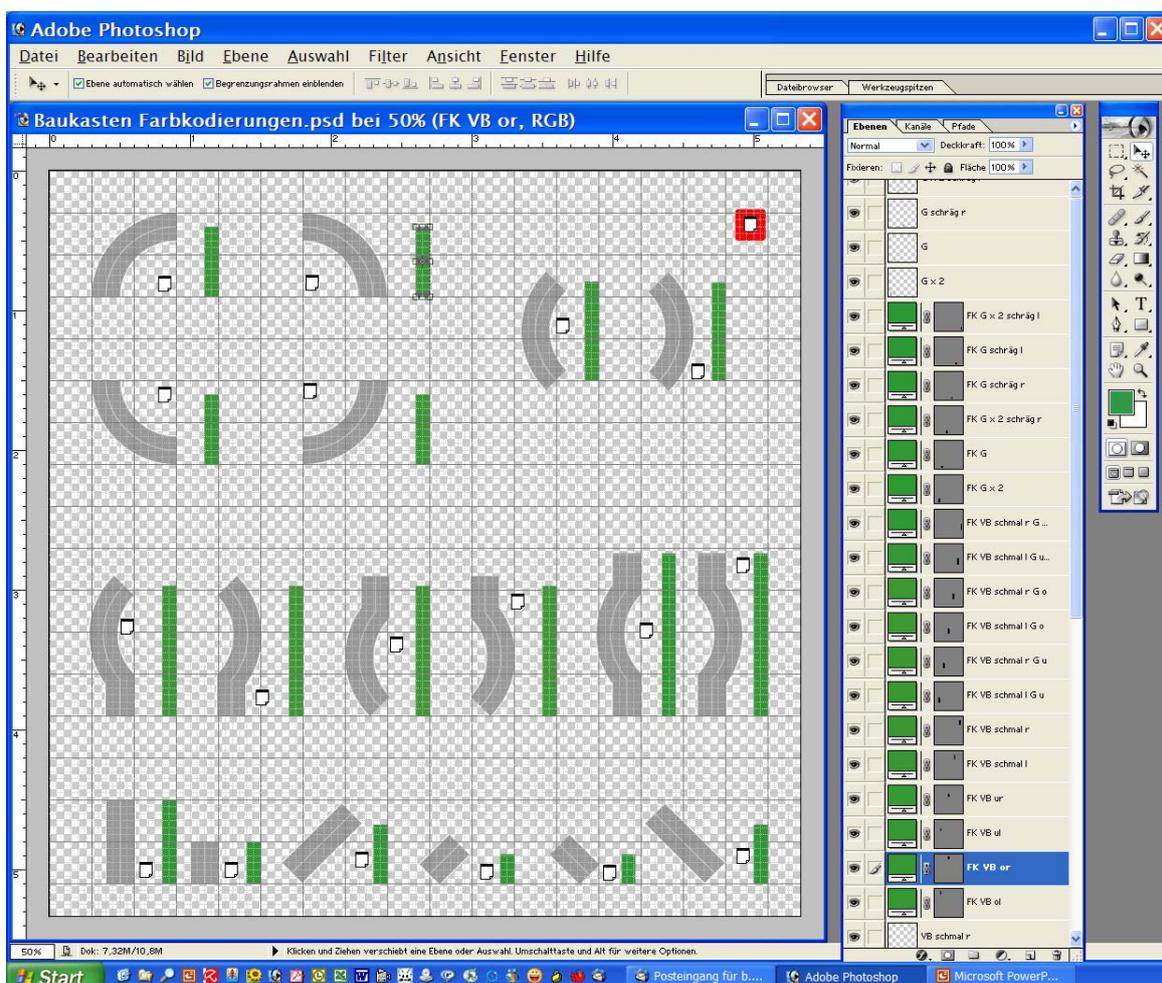


Abb.21: Baukasten Farbkodierungen

Die Farben sind so gewählt, dass sie dem Hintergrund möglichst ähnlich sehen. So sind – unterstützt durch Prozesse der selektiven Wahrnehmung, die den Fahrer wenig außerhalb der Straße bemerken lassen – die Streifen kaum zu erkennen und stellen daher auch keine störende Ablenkung im Versuch dar.

Die Streifen werden analog zu den Elementen, denen sie entsprechen, auf der Y-Achse am linken Bildrand jedes Spielbrettes angebracht.

Im Verlauf des Experimentes wird nun erfasst, welche Farbe jeweils der Streifen auf der linken Seite hat, an dem das Fahrzeug gerade entlang fährt. Diese Information kann direkt abgefragt werden, dafür ist kein separater Sensor am Fahrzeug notwendig. Die registrierten Farbwerte werden im Logfile erfasst und können in der Auswertung wieder in die Bezeichnung des Elementes zurück übersetzt werden.

Bewährt sich dieses Prinzip, wird es später erweitert auf die Erkennung zusätzlicher Parameter wie Fahrbahneigenschaften und zusätzlicher Einflüsse auf die Fahraufgabe.

Ebenfalls im Verlauf des Versuches erfasst wird die Übertretung der Randbegrenzung der Straße. Dazu ist das Fahrzeug mit fünf Sensoren ausgestattet, die in den vier Himmelsrichtungen und in der Mitte des Fahrzeuges angebracht sind. Sie erfassen jeweils, welche Farbe sie gerade überfahren und halten dies im Logfile fest. Wird im Versuch anstatt von grau oder weiß – den Farben Straße - grün überfahren – die Farbe des Hintergrundes - lassen sich daraus die Fehlerereignisse Fehler 1 und Fehler 2 ableiten, wie dies bei der Operationalisierung der Variablen beschrieben wurde.

Die Ideallinie, die das Vergleichsmaß für den Root Mean Squared Error darstellt, wird ebenfalls mittels Farbsensoren erfasst. Dies geschieht mit einer 2-Meßstrecken-Strategie. Wie bereits beschrieben, fungiert der Mittelstreifen als Ideallinie. Um deren Verlauf zu erfassen, wird zusätzlich zur eigentlichen Versuchsstrecke eine zweite, formgleiche Strecke mit durchgehendem Mittelstreifen erstellt. Dafür steht ein zweiter Baukasten mit Grundelementen zur Verfügung.



Abb.22: Bestimmung der Ideallinie

Diese weiße Linie wird in einem separaten Durchgang von einem Sensor erfasst, indem dieser farbgeleitet einmal den nun durchgehenden Mittelstreifen abfährt.

Durch die 2-Meßstrecken-Strategie muss die Ideallinie nicht redundant in jedem Versuchsdurchgang bestimmt werden, sondern nur einmal im Vorfeld der Untersuchungen. Das spart Ressourcen, indem die Logfileerhebungen während der experimentellen Untersuchungen entlastet werden. Die erhobenen Daten werden im Laufe der Auswertung ergänzend eingefügt.

## 6 Ergebnisse der Experimentellen Untersuchung

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, mit welchen Mitteln die erfassten Rohdaten des Versuches und der Fragebogenerhebung aufbereitet wurden. Die Schritte der Analysen auf den verschiedenen Ebenen werden dargestellt und die Ergebnisse präsentiert.

### 6.1 Datenaufbereitung

Die Logfiles zur Aufzeichnung der Daten aus der experimentellen Untersuchung erfassen folgende Parameter mit vier Tics pro Sekunde:

- die Bezeichnung des aktuellen Spielbrettes
- der Farbcode des aktuellen Grundelementes
- die zurückgelegte Gesamtstrecke
- die Anzahl der seit dem letzten Tic zurückgelegten Pixel
- das Ausmaß der Bewegung der Steuerungseinheit links/rechts und oben/unten
- die kumulierte Zeit ab Versuchsbeginn
- die Farbanzeigen der Fahrzeugsensoren für die drei Farbkomponenten rot, grün, blau

Nach den Versuchen stehen die erfassten Daten im CSV-Format zur Verfügung.

In einem ersten Arbeitsschritt werden die erhobenen Rohdaten von einem eigens dafür geschriebenen und zur Verfügung gestellten Computerprogramm auf der Basis von Access in der Reihenfolge ihres Auftretens aggregiert. Jedes Element erhält eine Laufnummer, anhand der im späteren Verlauf der Analyse zugeordnet werden kann, an welcher Position der Strecke es sich befunden hat.

Die Rohdaten werden pro Element in die Variablen transformiert, die für die Bestimmung der Veränderungen der abhängigen Variablen benötigt werden:

- Geschwindigkeit  $V_{\text{Element}}$
- Anzahl der Fehler 1
- Zeit für die Fehler 1
- Anzahl der Fehler 2
- Zeit für die Fehler 2
- Root Mean Squared Error
- Zeit für Kontrollverlust

---

Die letzte Variable konnte nicht direkt erfasst werden, sie musste nachträglich erschlossen und eingefügt werden. Sie beschreibt den Umstand, dass Probanden im Versuch den Kontakt zwischen Mauszeiger und Steuerungsknopf verlieren und damit die Kontrolle über das Fahrzeug, bis der Kontakt wieder hergestellt wird. Die Zeit für den Kontrollverlust wurde abgeleitet aus Abschnitten im Versuch, in denen es einen Steuerungsausschlag gab, dieser sich aber nicht in einer entsprechenden Fahrzeugbewegung zeigte. Der Kontrollverlust muss abgegrenzt werden gegen absichtliches Stehenbleiben durch Stellung der Steuerung auf den Nullpunkt.

Am Ende dieses Transformierungsprozesses standen die Daten in Form von Access-Datenbanken zur Verfügung und wurden zunächst in Excel-Dateien überführt. Dort erfolgte eine Überprüfung der Werte.

Dabei stellte sich heraus, dass die angezeigten Elemente nicht denen entsprachen, die erwartet wurden. Mit einer schrittweisen Analyse wurde dieser Fehler zurückverfolgt.

Die Ableitung der Elemente aus den Farbwerten aus den Logfiles erfolgte korrekt, aber die Farbwerte im Logfile hätten andere sein sollen. Sensorenfehler wurden dabei nicht festgestellt. Als Fehlerquelle wurden dementsprechend die verwendeten Bilder lokalisiert.

Ungewöhnlicherweise ließen die Farbverwechslungen kein bestimmtes Muster erkennen. Damit konnte die erste Vermutung einer Verwechslung der Farbstreifen im Farbkodierungsbaukasten ausgeschlossen werden. Dies wurde mit einer negativ ausgefallenen Kontrolle der Farbwerte im Baukasten bestätigt.

Die zweite Vermutung lautete auf Zuordnung eines Farbstreifens zu einem falschen Element. Die Überprüfung der Farbwerte der Farbstreifen in den Originalen Photoshop-Dateien der Spielbretter ergab zwar, dass dieser Fehler an einer Stelle unterlaufen war, dies liefert aber keine Erklärung für die Fülle der falschen Farbwerte.

Letztendlich stellte sich heraus, dass die unerwarteten Farbwerte beim Konvertieren der Spielbretter aus dem Photoshop-Format .psd in die für SQUEAK verwendbaren Bitmaps entstanden sind. Ein Teil der Umwandlung erfolgte völlig korrekt, daher wurde dieses Problem in der Erprobung nicht erkannt. Warum andere Umwandlungen zu unerwarteten Ergebnis führten, konnte nicht festgestellt werden. Denn sogar innerhalb einzelner Spielbretter erscheinen nach der Konvertierung falsche und richtige Werte.

Da die Abfolge der Elemente in der Strecke genau bekannt ist und Längeninformationen zu jedem Element vorliegen, konnte rekonstruiert werden, welches die richtigen Farbwerte gewesen wären. Diese wurden nachträglich manuell korrigiert.

Auf der Basis der transformierten und korrigierten Rohdaten wurden nun die Analysen auf den verschiedenen Untersuchungsebenen durchgeführt. Dazu wurden die aufbereiteten Daten in Form von Variablen im Statistikprogramm SPSS 12.0 kodiert, die notwendigen Berechnungen erfolgten programmgestützt, ebenso die Erstellung der vorliegenden Graphiken.

Die Daten aus den Excel-Dateien konnten per Importfunktion eingelesen werden, die Eingabe der Fragebogendaten erfolgte manuell. Letztere erforderten keine besondere Aufbereitung, alle Angaben sowie die Bewertungen auf den Skalen lassen sich direkt ablesen.

## 6.2 Schritt 1: Analyse auf Versuchspersonenebene

Aufgrund der relativ geringen Stichprobengröße hat kann jede Versuchsperson einen spürbaren Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben. Zur Kontrolle auf Ausreißer - wurden daher als erstes die abhängigen Variablen pro Versuchsteil für jede Versuchsperson kumuliert betrachtet und mittels Boxplots visualisiert.

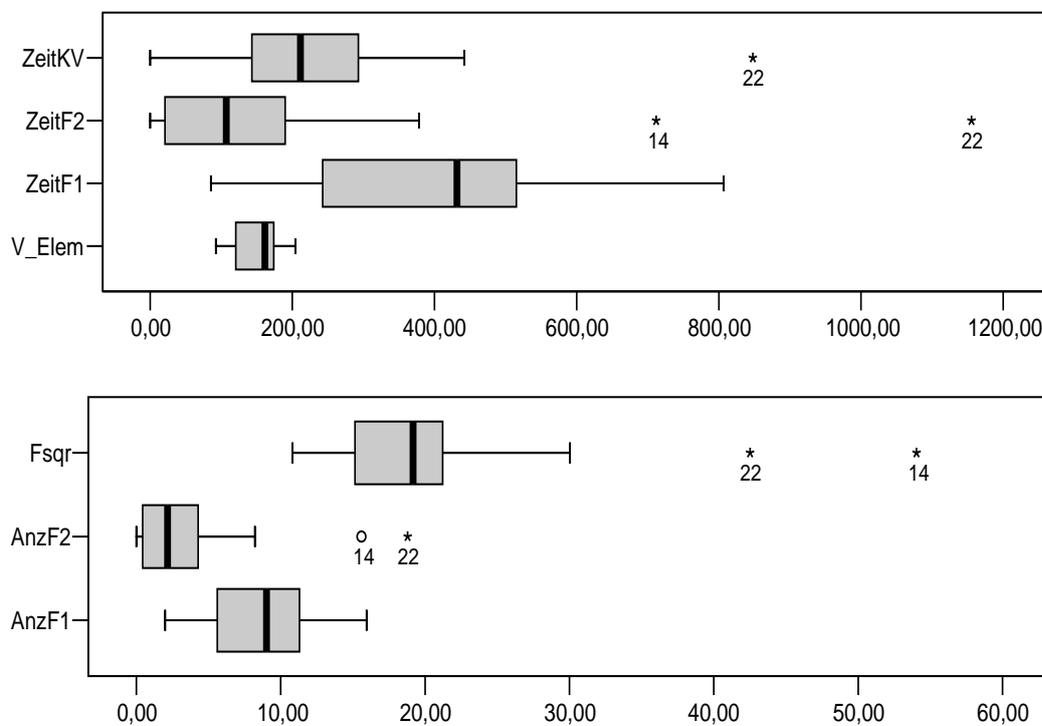


Abb.23: Boxplots Versuchsteil 1 [VG + KG]

In den Boxplots für den ersten Versuchsteil sind deutlich zwei Versuchspersonen als Ausreißer zu identifizieren: Vpn 14 und Vpn 22. Die Werte zeigen eine besonders hohe

Abweichung von der Ideallinie einen hohen Ausschlag bei Fehler 2 an. Dazu kommt bei Vpn 22 ein übermäßiger Verlust der Kontrolle über die Steuerung.

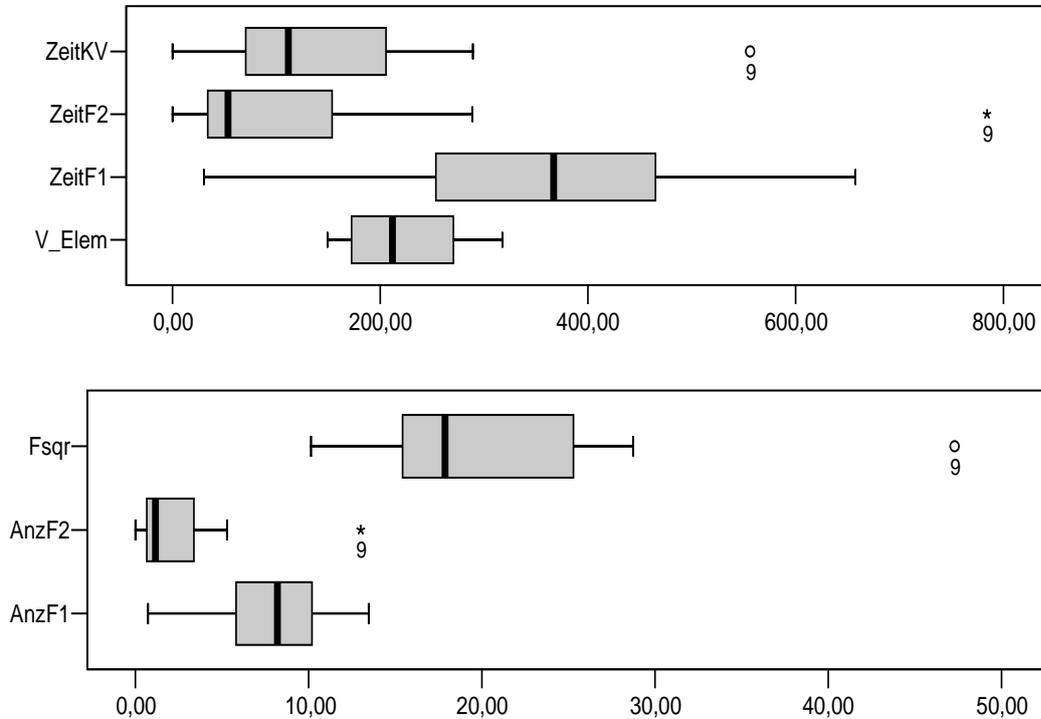
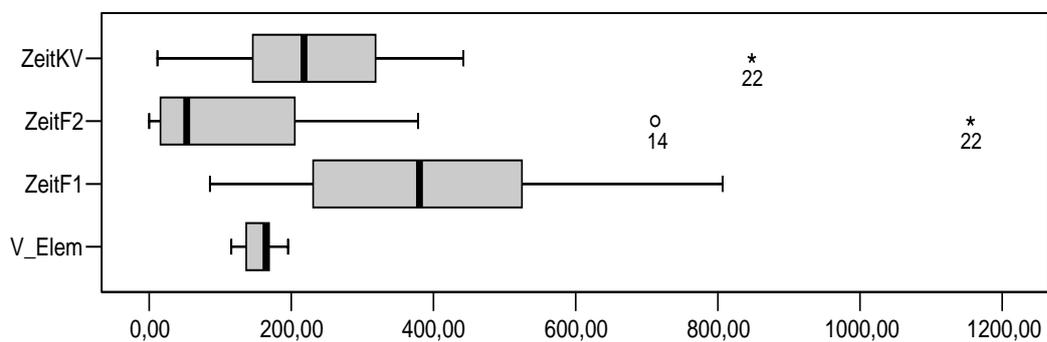


Abb.24: Boxplots Versuchsteil 2 oben [VG]

Die Versuchsperson 9 zeigt im zweiten Versuchsdurchgang Werte im Extrembereich. Da für den ersten Versuchsteil keine Auffälligkeiten zu verzeichnen sind und nur die Anzahl der Fehler 2 einen Ausreißer darstellt, werden daraus keine Konsequenzen in Bezug auf den Ausschluss der Versuchsperson gezogen.



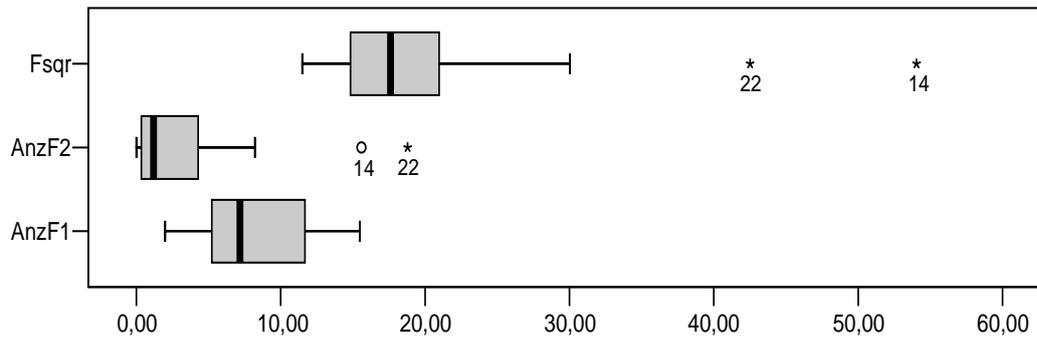


Abb.25: Boxplots Versuchsteil 2 unten [KG]

Die außergewöhnlichen Werte der Vpn 14 und 22 bestätigen sich im zweiten Versuchsteil. In Verbindung mit korrespondierenden Beobachtungen während der Versuchsdurchführung wird daraus geschlossen, dass aufgrund mangelnder Fähigkeiten im Umgang mit der Steuerung nicht instruktionsgemäß gefahren wurde und die erhobenen Werte damit nicht auf die Schwierigkeit der Strecke, sondern auf grundsätzliche Probleme bei der Aufgabenausführung hinweisen. Die Versuchsergebnisse würden unangemessen verzerrt werden.

Daher werden die Vpn 14 und 22 aus der weiteren Datenauswertung ausgeschlossen.

### 6.3 Schritt 2: Analyse auf Elementebene – globaler Vergleich

In einem ersten Analyseschritt auf dieser Ebene wird überprüft, ob es zwischen den Elementen überhaupt Unterschiede in den abhängigen Variablen gibt. Dazu werden diese für jedes der 18 Grundelemente kumuliert betrachtet und mit Balkendiagrammen visualisiert.

Um Unterschiede zwischen dem ersten und dem zweiten Versuchsteil deutlich zu machen, werden Mittelwerte der einzelnen abhängigen Variablen einander jeweils nach Versuchsteil gegenübergestellt. Da es zunächst nicht um den Effekt der Positionsveränderung des Fahrzeuges geht, werden nur die Werte aus den gleichen Versuchsbedingungen betrachtet.

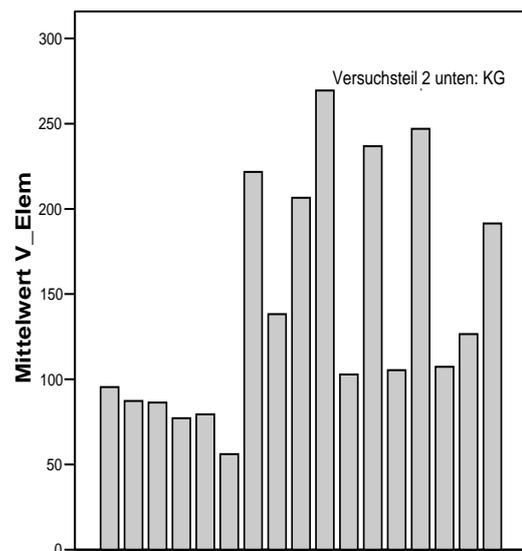
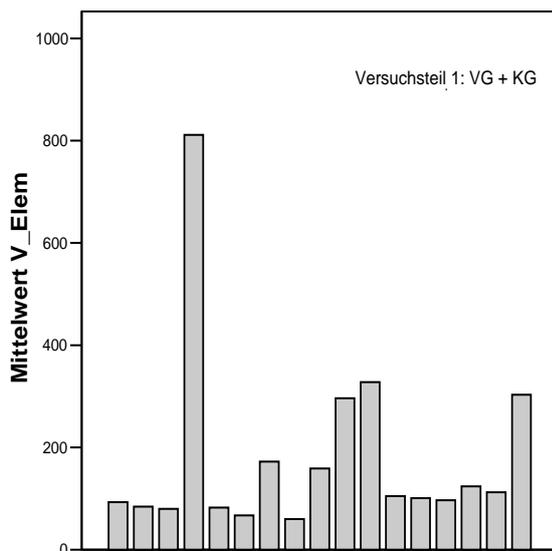


Abb.26: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Geschwindigkeit

Für die Geschwindigkeit zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Versuchsteilen, es zeigt sich eine allgemeine Erhöhung der Geschwindigkeit im zweiten Teil. Auffällig ist die V\_Elem für Element 5.

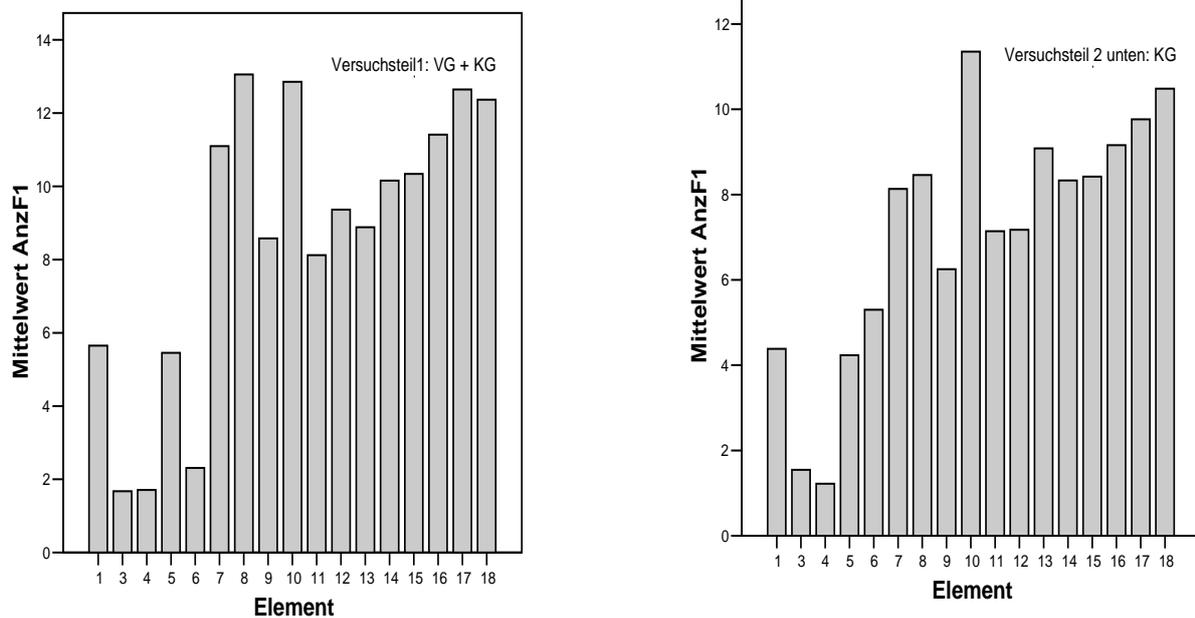


Abb.27: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Anzahl Fehler 1

Die Auftretenshäufigkeit des Fehlers 1 scheint sich in beiden Teilen zu ähneln. Die einzigen größeren Unterschiede scheint es bei den Elementen 6, 7 und 8, sowie Element 17 zu geben.

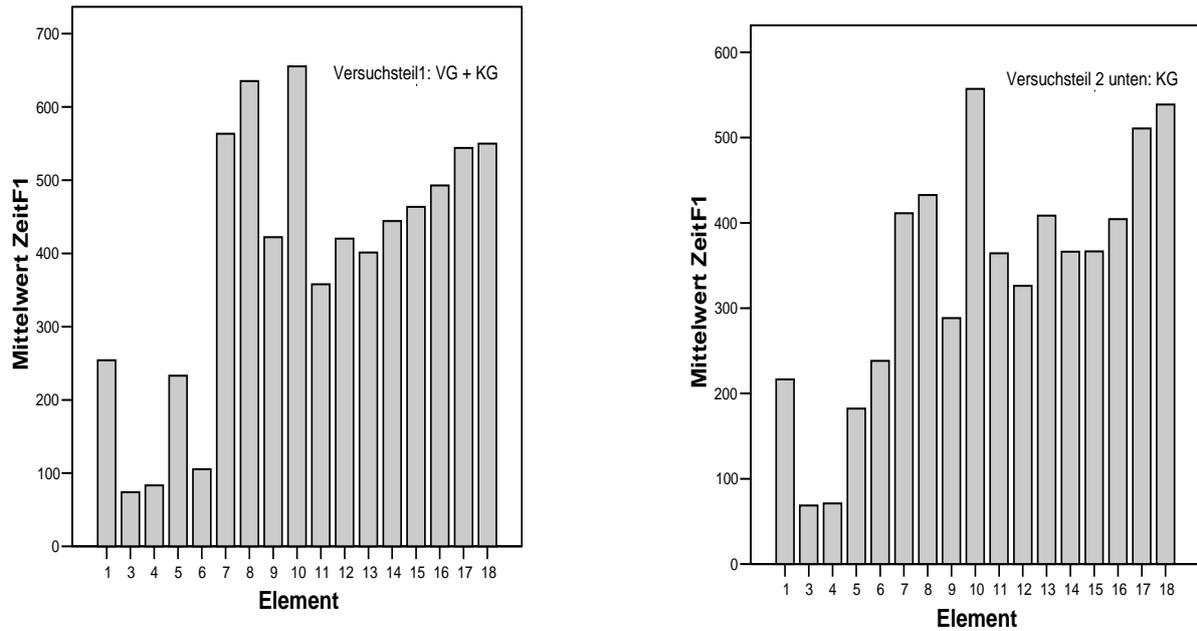


Abb.28: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Fehler 1

Die Balken für die Zeit des F1 sind fast identisch mit denen der Anzahl dieses Fehlers. Es sind geringe Unterschiede zwischen Teil 1 und 2 zu erkennen, die keine eindeutige Richtung aufweisen. Am deutlichsten ist die Differenz für Element 6.

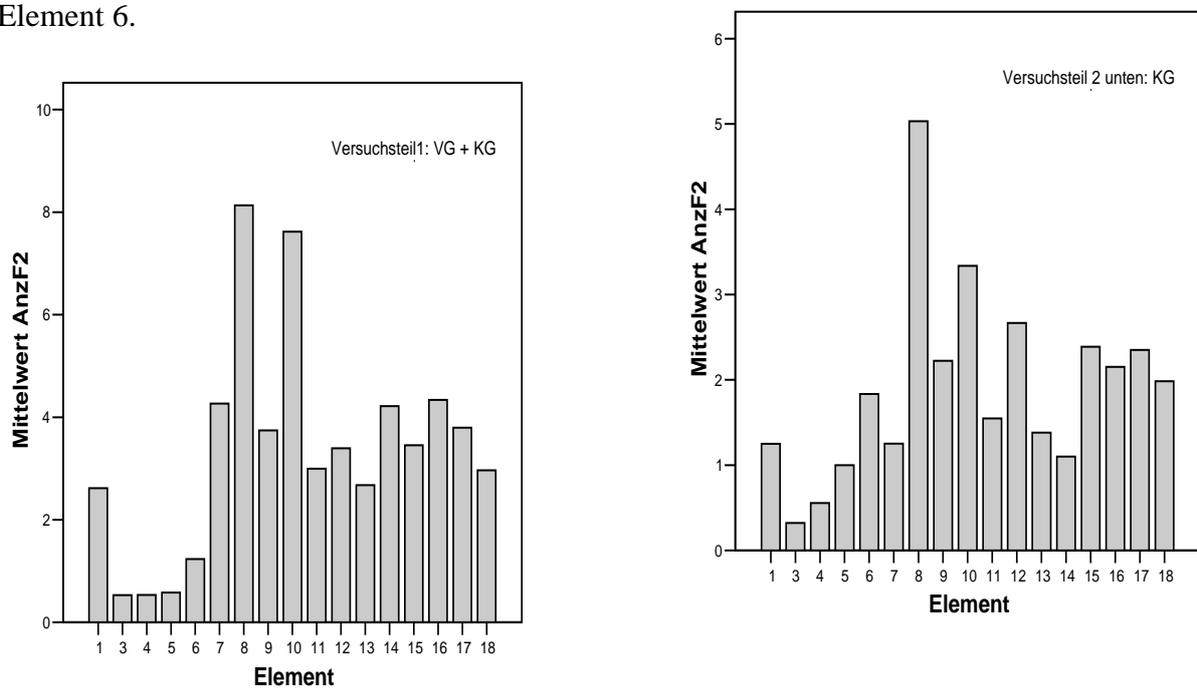


Abb.29: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Anzahl Fehler 2

Die Häufigkeit des Fehlers 2 variiert zwischen den beiden Versuchsteilen. Dabei ist keine globale Richtung der Häufigkeitsänderungen zu erkennen. Am auffälligsten sind die Änderungen bei den Elementen 7 und 10 und die Differenzen zwischen den sehr ähnlichen Elementen 7 / 9 und 8 / 10.

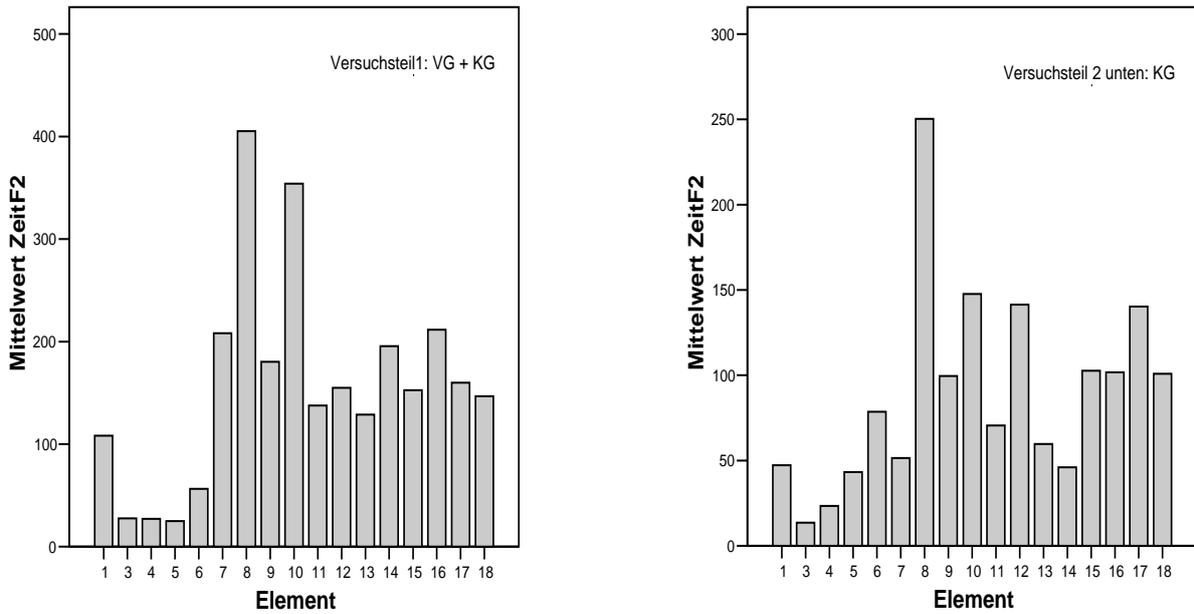


Abb.30: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Fehler 2

Die Mittelwerte für die Zeit für Fehler 2 spiegeln fast identisch die Diagramme für die Anzahl dieses Fehlers wieder. Für die leichten Veränderungen im zweiten Versuchsteil ist keine klare Tendenz auszumachen. Auffällig ist das hervorstechen der Elemente 8 und 10 bei eher durchschnittlichen Werten für die sehr ähnlichen Elemente 7 und 9.

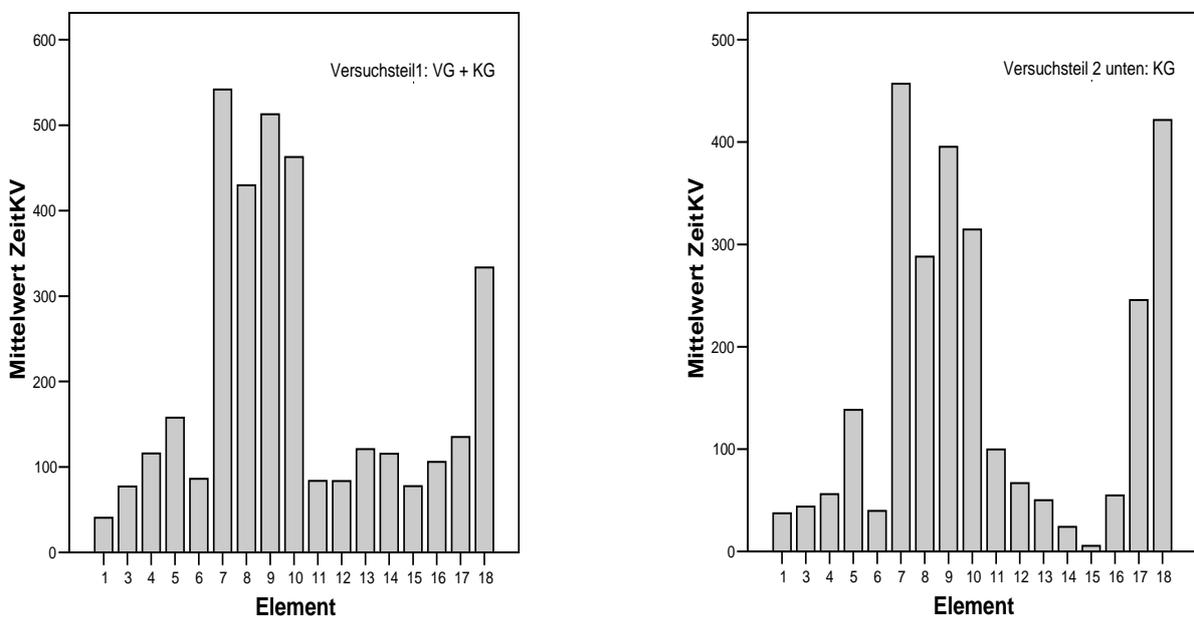


Abb.31: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Zeit für Kontrollverlust

Die Mittelwerte für die Zeit des Kontrollverlustes sind sich in beiden Versuchsteilen relativ ähnlich. Besonders hervor stechen die Elemente 7 bis 10 – das sind die Elemente, in denen erwartungsgemäß die Steuerung am schwierigsten ist.

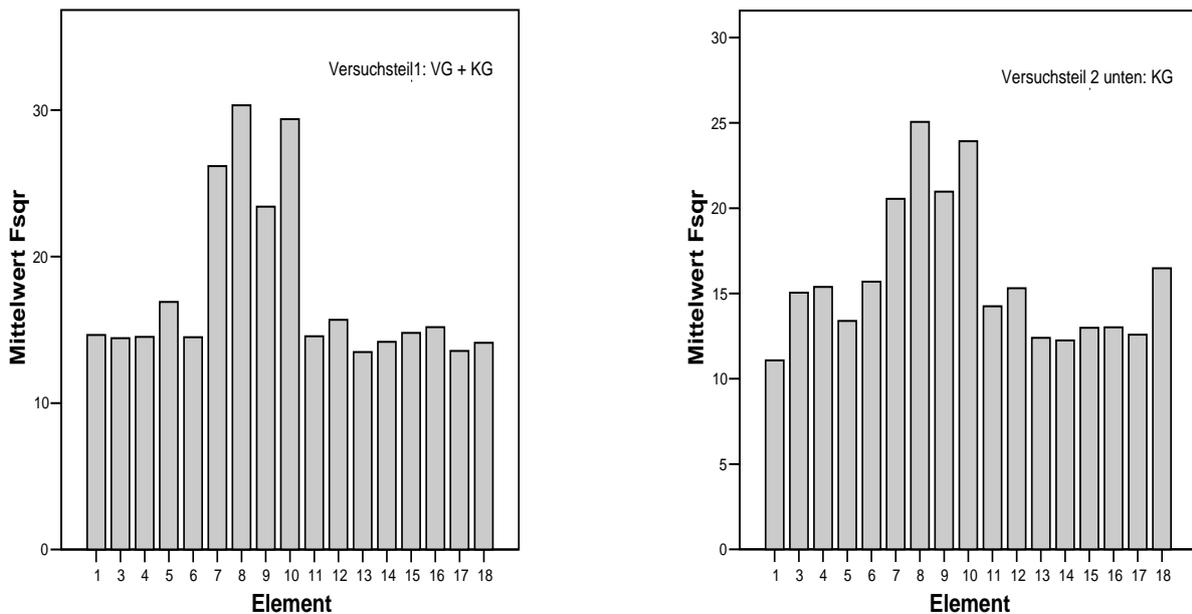


Abb.32: Mittelwerte der aV je Versuchsteil – Abweichung von der Mittellinie

Die Mittelwerte für die Abweichung von der Mittellinie unterscheiden sich kaum zwischen den beiden Versuchsteilen, es stechen jedoch die im Verhältnis deutlich höheren Werte für die Elemente 7 – 10 hervor.

*Die Tabelle mit der vollständigen Übersicht über Mittelwerte und Standardabweichungen befindet sich aus Platzgründen in Anhang A.*

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich zwischen den Elementen deutliche Unterschiede der Mittelwerte der abhängigen Variablen zeigen. Diese sind noch näher zu spezifizieren.

Es kann ebenfalls gesagt werden, dass in Bezug auf Unterschiede zwischen den beiden Versuchsteilen die Geschwindigkeit die einzige abhängige Variable ist, bei der sehr deutliche Unterschiede auch eine eindeutige Richtung aufweisen, ist – sie ist im zweiten Teil deutlich höher.

Auffällig und näher zu untersuchen sind die leichten Unterschiede zwischen den Versuchsteilen, bei denen die Veränderungen in den Werten der abhängigen Variablen keine eindeutige Richtung aufweisen. Warum die Werte für eine Variable bei einem Element steigen, bei einem anderen aber sinken, bleibt zu klären, zugrunde liegende nicht so offensichtliche Gemeinsamkeiten sind herauszufinden.

Interessant ist auch das Verhalten der Elemente 17 und 18. Ihre Mittelwerte unterscheiden sich zum Teil deutlich von denen der Elemente 11-16, obwohl sie diesen von der Form her

sehr ähnlich sind – alle diese Elemente sind Viertelbögen, die nur jeweils andere Übergangsstücke besitzen. Daraus ergibt sich die Frage, ob vielleicht gerade die Übergänge zwischen den einzelnen Elementen als kritische Parameter zu werten sind. Es liegt nahe, einen Vergleich der Elemente in Bezug auf ihren Einfahrts- und Ausfahrtsbereich zu unternehmen.

Am deutlichsten unterscheiden sich die Elemente 7 – 10 von den anderen. Da das auch jene Elemente sind, die sich in ihrer Form am deutlichsten von den anderen unterscheiden – es sind die nicht gekippten Viertelbögen – entsprechen die Befunde an dieser Stelle den Erwartungen.

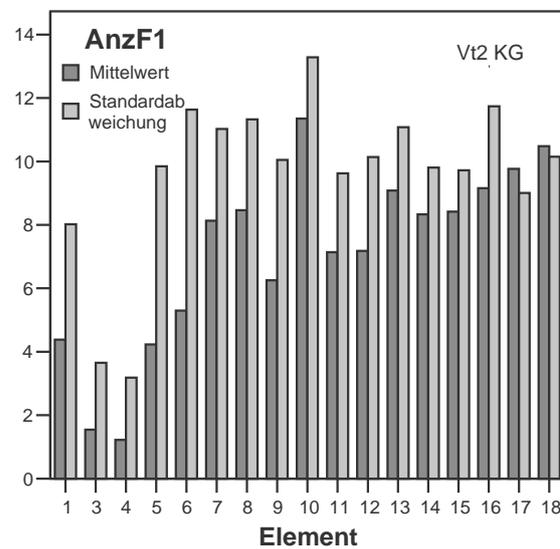
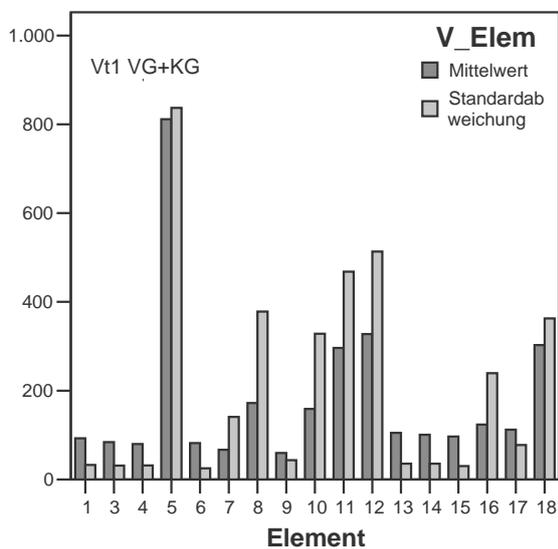
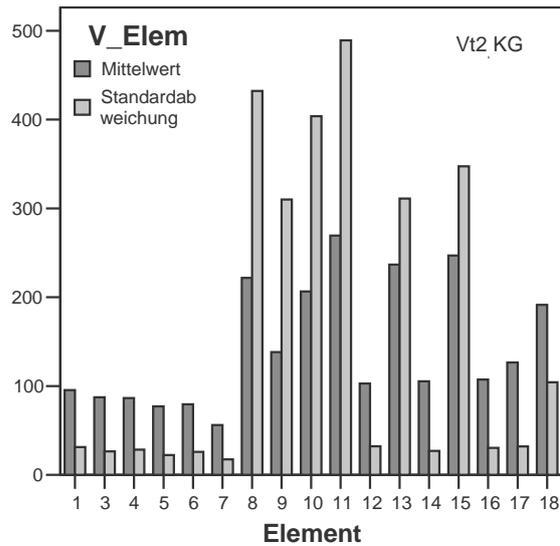
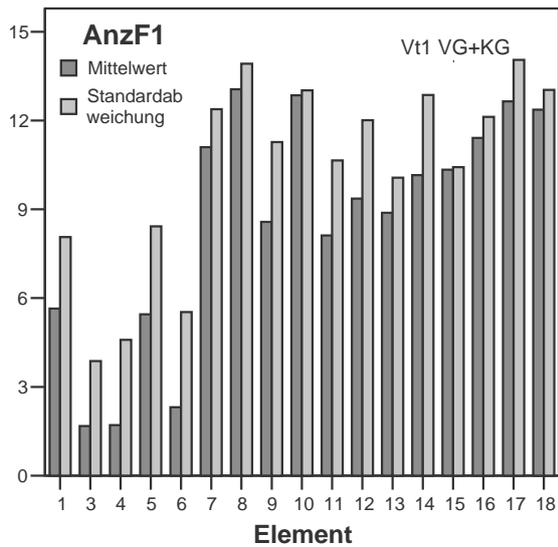
Dabei sind die deutlichen Differenzen zwischen den Elementen 7/9 und 8/10 aufzuklären, die sich von der Form her gleichen und damit eher ähnliche Ergebnisse erwarten lassen. Einen Anhaltspunkt bietet die Tatsache, dass 7 und 9 obere Teile eines Kreises sind und 8 und 10 untere – was Konsequenzen für das notwendige Lenkverhalten hat.

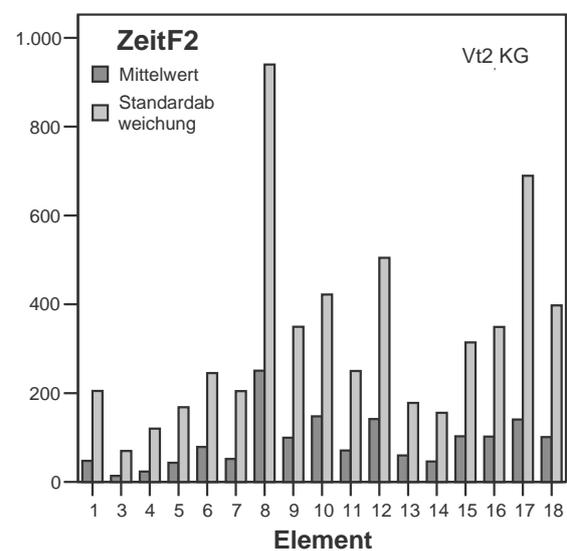
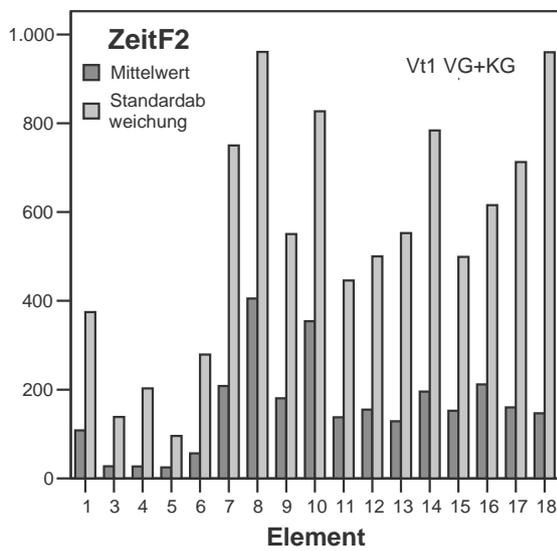
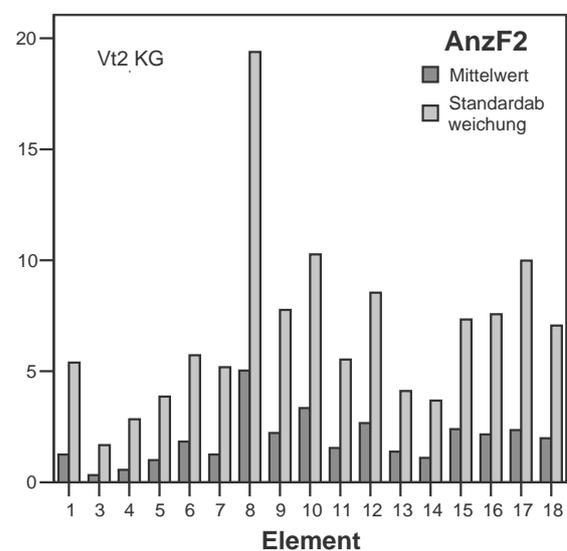
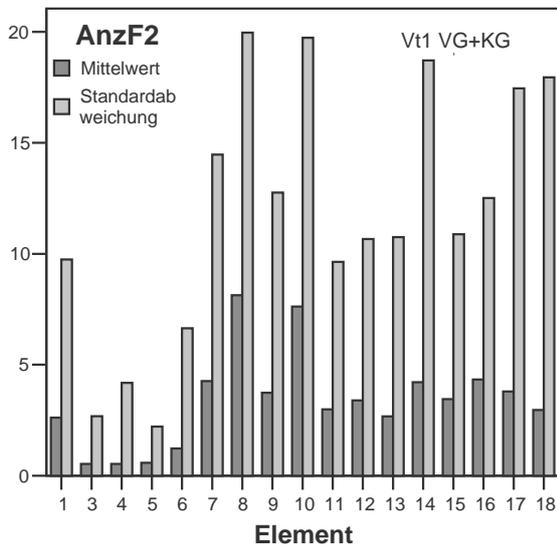
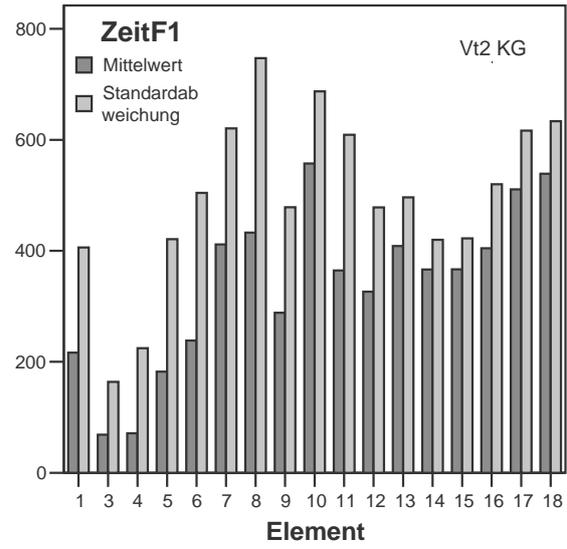
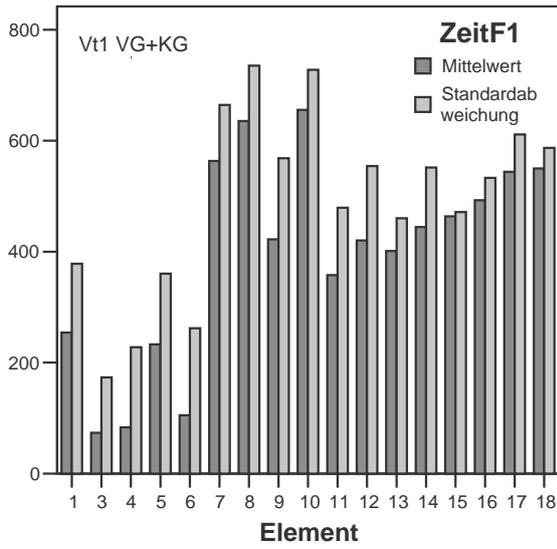
#### **6.4 Schritt 3: Analyse auf Elementebene – Kombinationseffekte**

Wie bereits beschrieben wurde, wird vermutet, dass die Schwierigkeit der Strecke sich nicht nur aus den Grundschwierigkeiten der Elemente ergibt, sondern auch von bestimmten Kombinationen von Elementen maßgeblich beeinflusst wird.

Ist dies der Fall, sollte sich die Variabilität in einer relativ hohen Varianz  $s^2$  zeigen (vgl. Bortz, 1999, S.42). Im Folgenden wird das statistische Maß der Standardabweichung  $s$  verwendet. Sie entspricht der Quadratwurzel der Varianz und ist etwas einfacher zu handhaben.

Zur Überprüfung werden Mittelwerte und Standardabweichungen der abhängigen Variablen für jedes Element getrennt nach Versuchsteil 1 und Versuchsteil 2 einander gegenübergestellt. Für den zweiten Versuchsteil werden wieder nur die Werte der Kontrollgruppe verwendet.





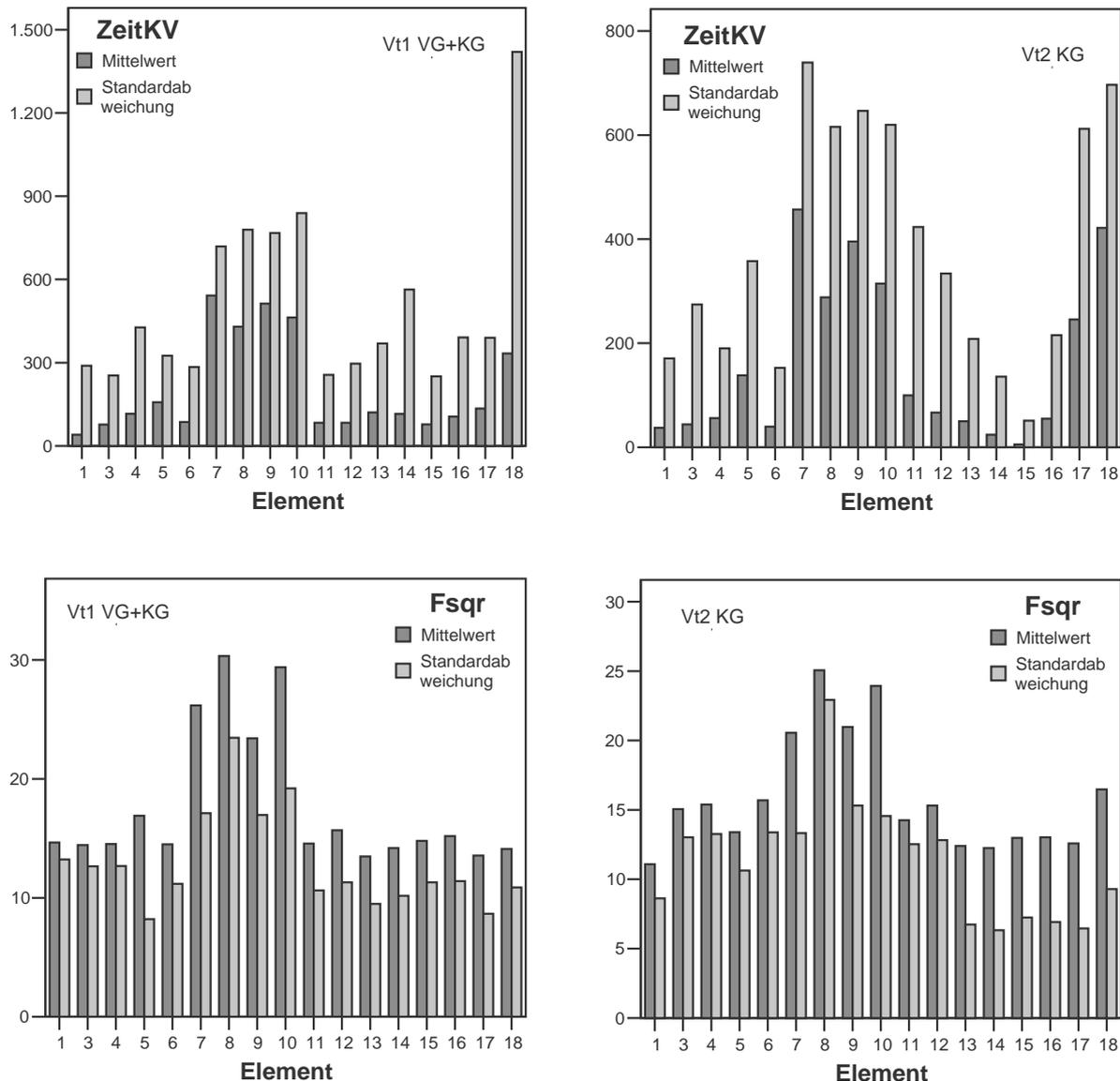


Abb.33: Mittelwert und Standardabweichung der aV nach Elementen und Versuchsteil

Die Vermutung hoher Varianzen bei einigen Elementen bestätigt sich, besonders auffällig sind die Werte der Elemente 5, 7, 8 und 18.

Es ist festzustellen, dass die Elemente entweder eine niedrige oder eine sehr hohe Varianz aufweisen – das kann als Hinweis auf systematische Effekte gewertet werden.

Daraus ergibt sich ein dringender Bedarf, die Effekte der Positionen der Elemente innerhalb der Versuchsstrecke und zueinander näher zu untersuchen. Die Werte 5, 7, 8 und 18 bieten hierfür durch ihre besondere Auffälligkeit einen guten Ansatzpunkt.

Die Aufklärung der Varianzen kann mit Hilfe der Elementstatistik in Anhang C vorgenommen werden. Dort sind die Elemente in der Reihenfolge ihres Auftretens im Versuch aufgelistet, die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen wurden ergänzt.

Aus dem Vergleich der Werte jeweils eines Elementes an verschiedenen Stellen des Versuches sollten sich Schlüsse für die Varianzursachen ziehen lassen. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf jeweils vorangegangene Elemente gelegt werden. Denn durch die Kombination der Elemente kommen ja gerade entscheidende Vorlageneigenschaften wie Zyklizität zu Stande.

Aus Zeitgründen muss dieser interessante Analyseschritt auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Er sollte jedoch nicht aus den Augen verloren werden, da die hier zu finden Effekte auf die Schwierigkeit mit großer Wahrscheinlichkeit einen gravierenden Einfluss haben und im Sinne der zukünftigen Untersuchungen genutzt werden sollten.

## 6.5 Schritt 4: Analyse auf Versuchsteilebene – objektive Daten

Im nächsten Schritt der Analyse sollen auf der Basis der abhängigen Variablen die Versuchsteile miteinander verglichen werden. Dazu wurden vier virtuelle Gruppen gebildet: die Versuchsgruppe im ersten Versuchsteil, die Kontrollgruppe im ersten Teil, die Versuchsgruppe im zweiten Teil und die Kontrollgruppe im zweiten Teil.

Mittelwertsunterschiede in den abhängigen Variablen werden als Übersicht in Tabelle 3 und durch Balkendiagramme dargestellt. Die parallele Darstellung aller vier Gruppen ermöglicht es, die Diagramme zur Beantwortung von mehr als nur einer einzigen Frage heranzuziehen.

Ziel dieser Untersuchungen ist es zum einen, eine Aussage darüber treffen zu können, ob sich in der Kontrollgruppe Veränderungen zwischen dem ersten und dem zweiten Versuchsteil ergeben. Treten solche Veränderungen auf, sind Einflüsse durch Lernen oder Konzentrationsfähigkeit nicht auszuschließen. Zum anderen sollen aus dem Vergleich der Versuchs- und der Kontrollgruppe im zweiten Versuchsteil Schlüsse zum Effekt der Variation der Versuchsbedingung durch Änderung der Fahrzeugposition auf der Bildschirmvertikalen gezogen werden.

Tabelle 3: Mittelwerte der aV nach Versuchsteilen und Gruppenzuordnung

Gruppe		V_Elem	AnzF1	ZeitF1	AnzF2	ZeitF2	ZeitKV	Fsqr	ZeitElem
Vt1 VG	Mittelwert	151,49	9,48	439,79	3,02	140,18	196,73	18,73	2688,73
	Stand.abw.	298,44	11,51	561,05	9,22	430,63	499,30	13,47	1385,14
Vt1 KG	Mittelwert	153,79	9,14	436,71	5,12	245,73	336,92	20,58	2795,37
	Stand.abw.	303,22	12,29	612,12	18,47	849,64	799,97	18,94	2050,27
Vt2 VG	Mittelwert	225,26	7,65	347,97	2,58	134,46	149,67	20,37	2551,64
	Stand.abw.	699,20	10,28	482,67	8,69	506,85	422,02	18,89	1214,49
Vt2 KG	Mittelwert	154,28	7,59	365,84	2,20	102,49	210,80	17,74	2530,52
	Stand.abw.	288,91	10,65	569,01	9,21	442,05	527,93	14,36	1268,81
Insgesamt	Mittelwert	168,67	8,63	404,85	3,35	160,99	228,08	19,41	2658,25

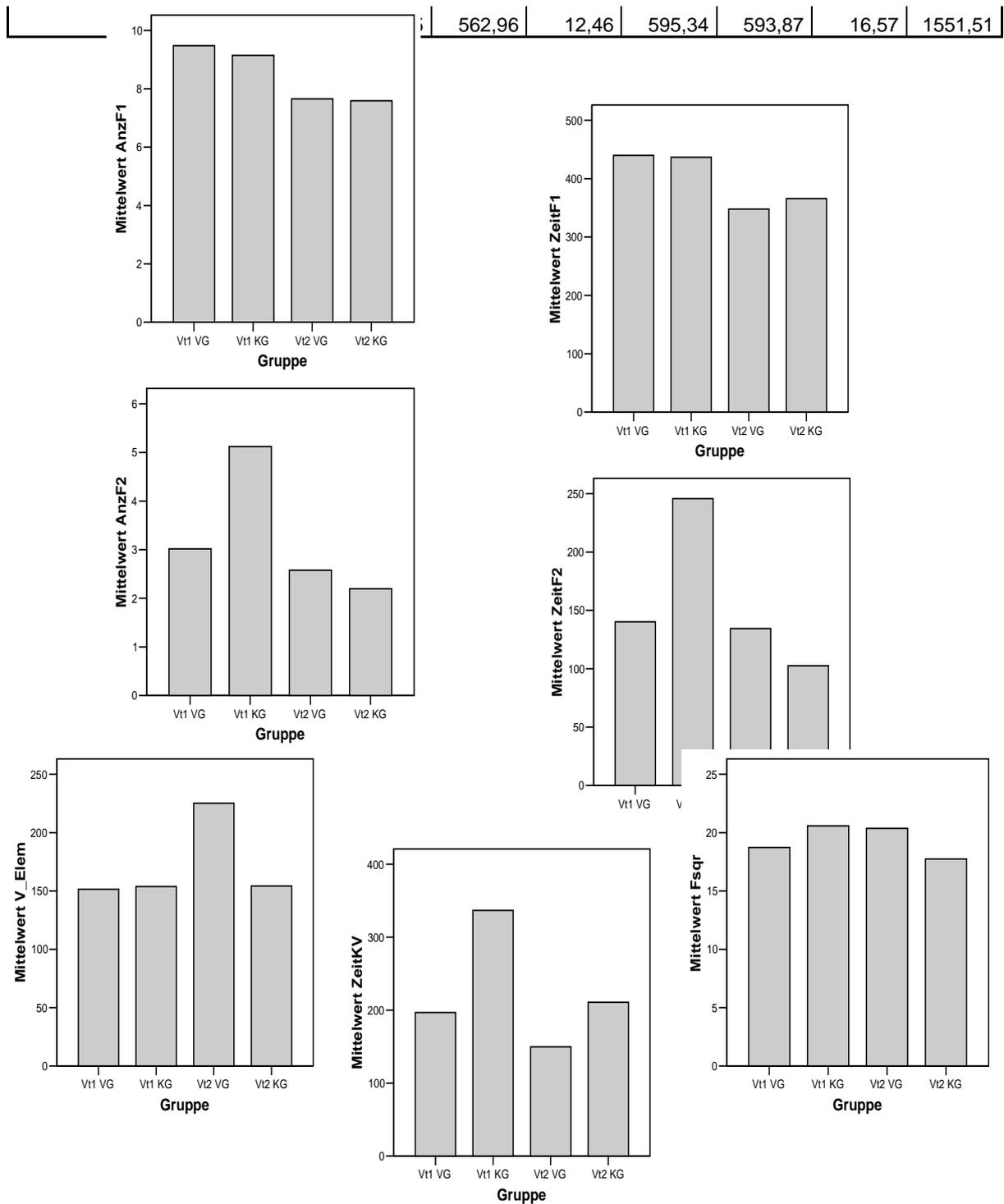


Abb.34: aV nach Versuchsteilen

## 6.6 Schritt 5: Analyse auf Versuchsteilebene – subjektive Daten

Für den Vergleich der subjektiv empfundenen Belastung im Versuchsverlauf wird der NASA-TLX ausgewertet.

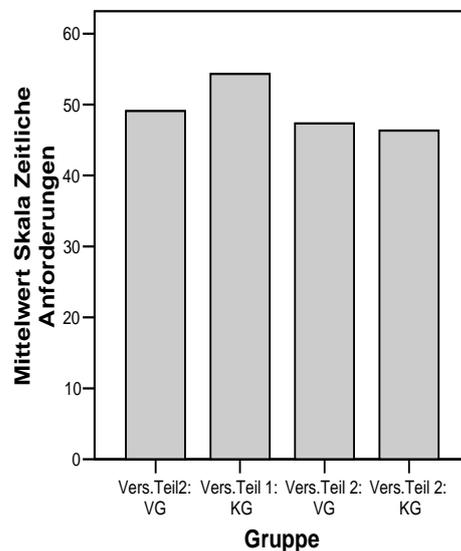
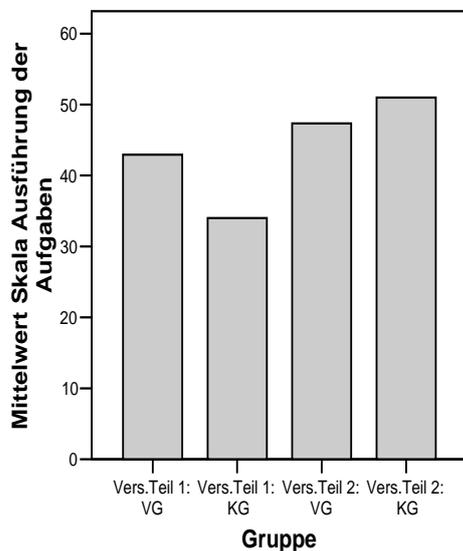
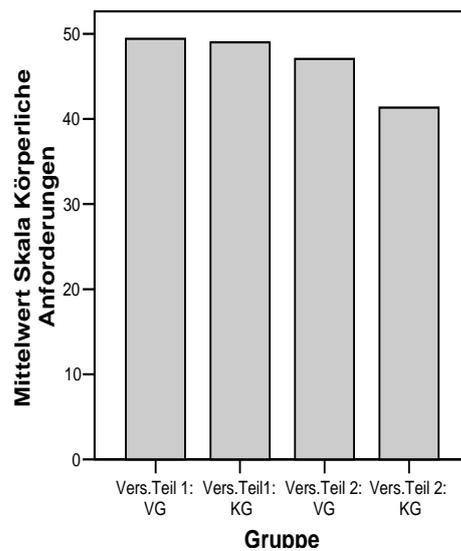
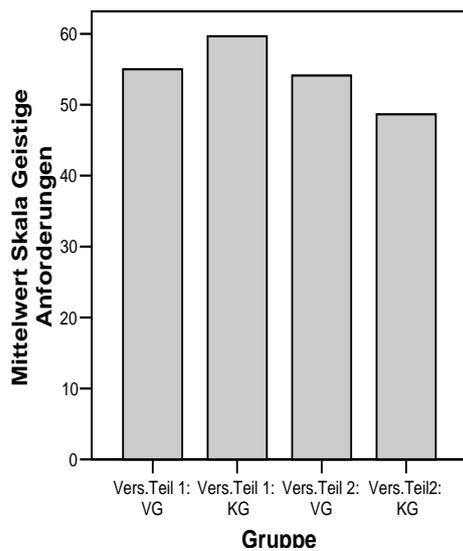
Als erstes wurden die Ratingsskalen nach Vorschrift des NASA-TLX pro Person ausgewertet und jeweils der Gesamtwert berechnet. Für die Analyse der Unterschiede zwischen den

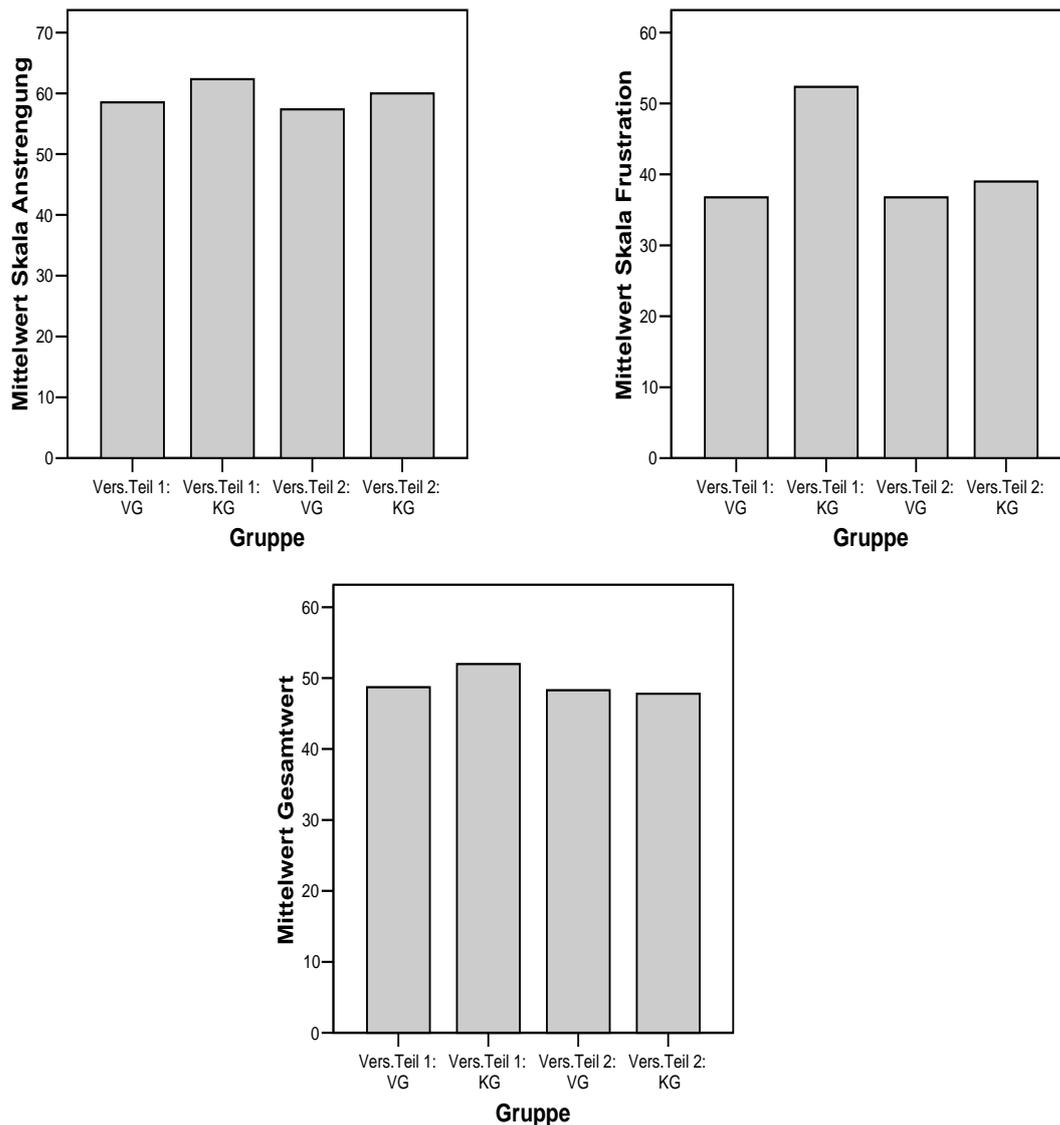
Versuchsteilen wurden nun die Werte der Skalen entsprechend den Versuchsteilen nach Gruppe getrennt zusammengefasst. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist in Tabelle 4 abzulesen.

Tabelle 4: Skalen des NASA-TLX für beide Versuchsteile je getrennt nach VG + KG

Gruppe		Geistige Anford.	Körperliche Anford.	Zeitliche Anford.	Ausführung der Aufgabe	Anstrengung	Frustration	Gesamtwert
Versuchsteil 1: VG	Mittelwert	55,00	49,41	49,12	42,94	58,53	36,76	48,71
	Stand.abw.	21,14	27,15	24,57	18,80	28,16	23,71	13,34
	N	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Versuchsteil1: KG	Mittelwert	59,67	49,00	54,33	34,00	62,33	52,33	52,00
	Stand.abw.	22,87	29,59	23,52	20,72	22,75	30,52	13,88
	N	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Versuchsteil2: VG	Mittelwert	54,12	47,06	47,35	47,35	57,35	36,76	48,29
	Stand.abw.	24,19	28,23	24,12	20,85	23,79	26,51	16,30
	N	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00
Versuchsteil2: KG	Mittelwert	48,67	41,33	46,33	51,00	60,00	39,00	47,80
	Stand.abw.	21,00	19,22	19,86	22,46	16,15	22,06	10,03
	N	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Insgesamt	Mittelwert	54,38	46,80	49,22	43,91	59,45	40,94	49,16
	Stand.abw.	22,16	26,01	22,82	21,13	22,84	26,03	13,43
	N	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00	64,00

Zur Besseren Übersicht werden die Mittelwerte der vier virtuellen Gruppen in Balkendiagrammen einander gegenüber gestellt.





Bei der Betrachtung der Balkendiagramme fällt als erstes auf, dass es deutliche Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe im ersten Versuchsteil gibt. Da dort beide Versuchsgruppen die gleiche Aufgabe unter identischen Bedingungen vorfinden, weist dies auf eine geringe Homogenität zwischen den Versuchsteilnehmern insgesamt hin. Das wird Beachtung finden, wenn der Aussagewert der Untersuchungsergebnisse betrachtet wird - dieser wird dadurch eingeschränkt.

Es zeigen sich für beide Versuchsgruppen Unterschiede zwischen den beiden Versuchsteilen.

Die statistische Prüfung dieser Unterschiede erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse mit dem Versuchsteil als festem Faktor. Betrachtet wurden Analog zur Analyse der objektiven Daten an dieser Stelle zunächst nur die Ergebnisse der Kontrollgruppe. Die Versuchsgruppe wird einbezogen werden, wenn es um die Analyse des Effektes der Variation der Fahrzeugposition geht.

Tabelle 5: Versuchsteil 1 vs Versuchsteil 2 – Gruppenstatistik der Skalen [KG]

	Mittelwert	N	Standard- abweichung	Standardfehler des MW
Geistige Anforderungen - Versuchsteil 1	59,67	15	22,87	5,91
Geistige Anforderungen - Versuchsteil 2	48,67	15	21,00	5,42
Körperliche Anforderungen - Versuchsteil 1	49,00	15	29,59	7,64
Körperliche Anstrengung - Versuchsteil 2	41,33	15	19,22	4,96
Zeitliche Anforderungen - Versuchsteil 1	54,33	15	23,52	6,07
Zeitliche Anforderungen - Versuchsteil 2	46,33	15	19,86	5,13
Ausführung der Aufgaben - Versuchsteil 1	34,00	15	20,72	5,35
Ausführung der Aufgaben - Versuchsteil 2	51,00	15	22,46	5,80
Anstrengung - Versuchsteil 1	62,33	15	22,75	5,87
Skala Anstrengung - Versuchsteil 2	60,00	15	16,15	4,17
Frustration - Versuchsteil 1	52,33	15	30,52	7,88
Frustration - Versuchsteil 2	39,00	15	22,06	5,69
TLX1gesamt -	52,00	15	13,88	3,58
TLX2gesamt	47,80	15	10,03	2,59

Tabelle 6: T-Test bei gepaarten Stichproben Versuchsteil 1 vs. Versuchsteil 2 [KG]

	Gepaarte Differenzen				T	df	Signif. (2-seitig)
	MW	Standard- abw.	95% Konfid-intervall der Differenz				
			Untere	Obere			
Geistige Anforderungen – Vt 1 - Geistige Anforderungen – Vt 2	11,00	13,52	3,51	18,49	3,15	14	<b>0,01</b>
Körperliche Anforderungen - Vt 1 - Körperliche Anstrengung – Vt 2	7,67	19,44	-3,10	18,43	1,53	14	0,15
Zeitliche Anforderungen - Vt 1 - Zeitliche Anforderungen - Vt 2	8,00	18,30	-2,14	18,14	1,69	14	0,11
Ausführung der Aufgaben - Vt 1 - Ausführung der Aufgaben - Vt 2	-17,00	26,38	-31,61	-2,39	-2,50	14	<b>0,03</b>
Anstrengung - Vt 1 - Anstrengung - Vt 2	2,33	19,44	-8,43	13,10	0,46	14	0,65
Frustration Vt 1 - Frustration - Vt 2	13,33	30,34	-3,47	30,13	1,70	14	0,11
TLX1gesamt - TLX2gesamt	4,20	9,29	-0,94	9,34	1,75	14	0,10

Aus der Varianzanalyse ergibt sich, dass sich die beiden Versuchsteile bei gleichen Versuchsbedingungen nur auf der Skala geistige Anforderungen und bei der Einschätzung der Ausführung der Aufgaben signifikant voneinander unterscheiden, d.h., die Wahrscheinlichkeit, dass es irrtümlicherweise doch keinen statistisch bedeutsamen Unterschied gibt, liegt unterhalb der Grenze der festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$ .

Die geistigen Anforderungen werden im zweiten Versuchsteil als geringer eingeschätzt, ebenso die Anstrengung, die aufgewendet werden musste, um den jeweiligen Grad der

Aufgabenerfüllung zu erreichen. Für die anderen Skalen besteht eine Tendenz, die Beanspruchung im zweiten Versuchsteil als geringer zu erachten, als im ersten. Ob dieser Unterschied tatsächlich nicht bedeutsam ist oder nur aufgrund der relativ kleinen Stichprobengröße keine Signifikanz erreicht wird, kann an dieser Stelle nicht eingeschätzt werden.

## 6.7 Schritt 6: Effekt der Variation der Fahrzeugposition – objektive Daten

Die Untersuchung der Mittelwerte der abhängigen Variablen auf statistisch signifikante Unterschiede erfolgte mittels mehrfaktorieller Varianzanalyse.

Auf der Basis der objektiven Daten des zweiten Versuchsteils wurde auf aus dem Vergleich von Versuchs- und Kontrollgruppe in diesem Versuchsteil auf Effekte der Variation der Fahrzeugposition geschlossen. Als fester Faktor wurde die Gruppenzugehörigkeit zu Versuchs- oder Kontrollgruppe eingesetzt. Das Alpha-Niveau wurde auf 0,05 festgelegt.

Die Tabelle 7 gibt zunächst einen Überblick über die Gruppenmittelwerte getrennt nach Versuchs- und Kontrollgruppe für die einzelnen abhängigen Variablen. In Tabelle 8 ist dann das Ergebnis der Varianzanalyse dargestellt, während

Tabelle 7: Mittelwerte der aV für Versuchsteil 2 [VG + KG]

	Gruppe	Mittelwert	Standardabw.	N
V_Elem	VG	225,26	699,20	2125,00
	KG	154,28	288,91	1875,00
	Gesamt	191,99	547,75	4000,00
AnzF1	VG	7,65	10,28	2125,00
	KG	7,59	10,65	1875,00
	Gesamt	7,62	10,45	4000,00
ZeitF1	VG	347,97	482,67	2125,00
	KG	365,84	569,01	1875,00
	Gesamt	356,35	524,92	4000,00
AnzF2	VG	2,58	8,69	2125,00
	KG	2,20	9,21	1875,00
	Gesamt	2,40	8,94	4000,00
ZeitF2	VG	134,46	506,85	2125,00
	KG	102,49	442,05	1875,00
	Gesamt	119,48	477,78	4000,00
ZeitKV	VG	149,67	422,02	2125,00
	KG	210,80	527,93	1875,00
	Gesamt	178,32	475,53	4000,00
Fsqr	VG	20,37	18,89	2125,00
	KG	17,74	14,36	1875,00
	Gesamt	19,14	16,97	4000,00

Tabelle 8: Varianzanalyse Effekte der Positionsveränderung Versuchsteil 2 [VG + KG]

Quelle	Abhängige Variable	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Gruppe	V_Elem	5018405,60	1	5018405,60	16,79	<b>0,00</b>
	AnzF1	3,95	1	3,95	0,04	0,85
	ZeitF1	317979,77	1	317979,77	1,15	0,28
	AnzF2	143,49	1	143,49	1,80	0,18
	ZeitF2	1017988,99	1	1017988,99	4,46	<b>0,03</b>
	ZeitKV	3721680,87	1	3721680,87	16,52	<b>0,00</b>
	Fsqr	6849,69	1	6849,69	23,93	<b>0,00</b>

In der Versuchsversion mit erhöhter Fahrzeugposition – damit auch erhöhter Schwierigkeit – zeigen sich signifikant höhere Werte für die Geschwindigkeit, die Zeit, die durch Fehler 2 in Anspruch genommen wird und die Abweichung von der Ideallinie.

Die Zeit, in der ein Kontrollverlust über die Fahrzeugsteuerung vorlag, ist dagegen für die Versuchsgruppe insgesamt signifikant höher.

## 6.8 Schritt 7: Effekt der Variation der Fahrzeugposition - subjektive Daten

Um den Effekt der Variation der Fahrzeugposition auf die subjektiv empfundene Belastung zu analysieren, wurden ein zweites Mal die Daten aus der Erhebung des NASA-TLX herangezogen. Diesmal wurden Versuchs- und Kontrollgruppe im zweiten Versuchsteil einander gegenübergestellt. Die statistische Analyse erfolgte mittels T-Test für unabhängige Stichproben.

Die Gruppenmittelwerte sind Tabelle 9 zu entnehmen, die Ergebnisse der T-Tests Tabelle 10.

Tabelle 9: Positionseffekte in Versuchsteil 2 – Gruppenstatistiken [VG vs KG]

	Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des MW
Geistige Anforderungen	Sequ2VG	17	54,12	24,19	5,87
	Seq2KG	15	48,67	21,00	5,42
Körperliche Anforderungen	Sequ2VG	17	47,06	28,23	6,85
	Seq2KG	15	41,33	19,22	4,96
Zeitliche Anforderungen	Sequ2VG	17	47,35	24,12	5,85
	Seq2KG	15	46,33	19,86	5,13
Ausführung der Aufgaben	Sequ2VG	17	47,35	20,85	5,06
	Seq2KG	15	51,00	22,46	5,80
Anstrengung	Sequ2VG	17	57,35	23,79	5,77
	Seq2KG	15	60,00	16,15	4,17
Frustration	Sequ2VG	17	36,76	26,51	6,43
	Seq2KG	15	39,00	22,06	5,69
Gesamtwert	Sequ2VG	17	48,29	16,30	3,95

	Seq2KG	15	47,80	10,03	2,59
--	--------	----	-------	-------	------

Tabelle 10: T-Tests zur Überprüfung der Positionseffekte mittels NASA-TLX

Skalen des NASA-TLX		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
							Untere	Obere
Geistige Anforderungen	Varianzen sind gleich	0,68	30,00	0,50	5,45	8,06	-11,01	21,91
	Varianzen sind nicht gleich	0,68	30,00	0,50	5,45	7,99	-10,86	21,77
Körperliche Anforderungen	Varianzen sind gleich	0,66	30,00	0,51	5,73	8,66	-11,96	23,41
	Varianzen sind nicht gleich	0,68	28,30	0,50	5,73	8,46	-11,59	23,04
Zeitliche Anforderungen	Varianzen sind gleich	0,13	30,00	0,90	1,02	7,88	-15,07	17,10
	Varianzen sind nicht gleich	0,13	29,88	0,90	1,02	7,78	-14,87	16,91
Ausführung der Aufgaben	Varianzen sind gleich	-0,48	30,00	0,64	-3,65	7,66	-19,28	11,99
	Varianzen sind nicht gleich	-0,47	28,81	0,64	-3,65	7,69	-19,39	12,09
Anstrengung	Varianzen sind gleich	-0,36	30,00	0,72	-2,65	7,29	-17,54	12,24
	Varianzen sind nicht gleich	-0,37	28,26	0,71	-2,65	7,12	-17,22	11,93
Frustration	Varianzen sind gleich	-0,26	30,00	0,80	-2,24	8,69	-19,98	15,51
	Varianzen sind nicht gleich	-0,26	29,91	0,80	-2,24	8,59	-19,78	15,31
Gesamtwert	Varianzen sind gleich	0,10	30,00	0,92	0,49	4,87	-9,44	10,43
	Varianzen sind nicht gleich	0,10	26,99	0,92	0,49	4,73	-9,21	10,19

Aus der Auswertung des NASA-TLX ergeben sich für die beiden Versuchsbedingungen keine signifikanten Unterschiede im gemessenen subjektiven Belastungsempfinden.

## 6.9 Schritt 7: Überprüfung der Kontrollhypothesen

Um zu kontrollieren, ob das Geschlecht einen Einfluss auf die Versuchsergebnisse hat oder Leistungssportler andere Werte erreichen, als Nicht-Sportler, wurden einfaktorielle Varianzanalysen gerechnet.

Tabelle 11: Varianzanalyse mit Geschlecht als festem Faktor

Quelle	Abhängige Variable	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Geschlecht	V_Elem	685,54	1,00	685,54	0,45	0,51	0,01
	AnzF1	21,26	1,00	21,26	1,83	0,19	0,06
	ZeitF1	63168,09	1,00	63168,09	2,28	0,14	0,07
	AnzF2	52,50	1,00	52,50	3,93	0,06	0,12
	ZeitF2	145602,39	1,00	145602,39	4,87	<b>0,04</b>	0,14
	ZeitKV	76437,05	1,00	76437,05	4,12	<b>0,05</b>	0,12
	Fsqr	190,01	1,00	190,01	5,86	<b>0,02</b>	0,16
	ZeitElem	4420,46	1,00	4420,46	0,01	0,92	0,00

Tabelle 12: Einfluss des Geschlechts der Vpn – Gruppenstatistiken

	Geschlecht der Vpn	Mittelwert	Standardabweichung	N
V_Elem	männlich	164,59	39,55	18
	weiblich	173,92	38,44	14
	Gesamt	168,67	38,73	32
AnzF1	männlich	7,91	3,76	18
	weiblich	9,55	2,88	14
	Gesamt	8,63	3,45	32
ZeitF1	männlich	365,67	182,15	18
	weiblich	455,23	143,56	14
	Gesamt	404,85	169,93	32
AnzF2	männlich	2,22	2,54	18
	weiblich	4,80	4,73	14
	Gesamt	3,35	3,82	32
ZeitF2	männlich	101,50	111,14	18
	weiblich	237,47	229,74	14
	Gesamt	160,99	183,31	32
ZeitKV	männlich	184,98	123,49	18
	weiblich	283,50	151,37	14
	Gesamt	228,08	142,96	32
Fsqr	männlich	17,26	4,04	18
	weiblich	22,17	7,31	14
	Gesamt	19,41	6,12	32
ZeitElem	männlich	2647,88	677,36	18
	weiblich	2671,58	703,95	14
	Gesamt	2658,25	677,91	32

Für Geschlechtsunterschiede wurden für die Variablen Zeit für Fehler 2, Zeit für Kontrollverlust und Abweichung von Mittellinie signifikante Unterschiede gefunden. Frauen wichen in größerem Maße von der Ideallinie ab, verbrachten mehr Zeit völlig außerhalb der Strecke und verloren häufiger die Kontrolle über die Steuerung. Interessant wäre zu untersuchen, ob dies mit möglicherweise vorhanden Unterschieden in Fahrstil oder Interpretation der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Instruktion zusammenhängen könnte.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Analyse von Leistungssport als Faktor verzeichnet.

Tabelle 13: Varianzanalyse mit Leistungssport als festem Faktor

Quelle	Abhängige Variable	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz	Partielles Eta-Quadrat
Sportler	V_Elem	3777,39	1,00	3777,39	2,65	0,11	0,08
	AnzF1	2,75	1,00	2,75	0,23	0,64	0,01
	ZeitF1	4219,64	1,00	4219,64	0,14	0,71	0,00
	AnzF2	47,80	1,00	47,80	3,54	0,07	0,11
	ZeitF2	98413,33	1,00	98413,33	3,13	0,09	0,09

	ZeitKV	4395,58	1,00	4395,58	0,21	0,65	0,01
	Fsqr	24,55	1,00	24,55	0,65	0,43	0,02

Tabelle 14: Einfluss von Leistungssport – Gruppenstatistiken

	aktiver Leistungs- sportler	Mittelwert	Standardabweichung	N
V_Elem	ja	180,24	31,31	15
	nein	158,47	42,57	17
	Gesamt	168,67	38,73	32
AnzF1	ja	8,31	2,59	15
	nein	8,90	4,12	17
	Gesamt	8,63	3,45	32
ZeitF1	ja	392,62	126,72	15
	nein	415,64	204,04	17
	Gesamt	404,85	169,93	32
AnzF2	ja	2,05	1,39	15
	nein	4,50	4,86	17
	Gesamt	3,35	3,82	32
ZeitF2	ja	101,95	74,74	15
	nein	213,08	232,53	17
	Gesamt	160,99	183,31	32
ZeitKV	ja	240,56	122,76	15
	nein	217,07	161,67	17
	Gesamt	228,08	142,96	32
Fsqr	ja	18,48	3,69	15
	nein	20,23	7,70	17
	Gesamt	19,41	6,12	32

Es zeigen sich keine Hinweise darauf, dass Leistungssportler in diesem Experiment andere Ergebnisse erzielen konnten, als Nicht-Sportler.

## **7 Diskussion**

### **7.1 Ergebnisse der Untersuchung**

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung interpretiert und zur Beantwortung der empirischen Fragestellung herangezogen.

#### **7.1.1 Vergleich der Elemente**

Im globalen Vergleich der Elemente zeigen sich klar erkennbare Unterschiede zwischen einzelnen Grundelementen. Bei keiner abhängigen Variablen gleichen sich alle Mittelwerte.

Zu den spezifizierten Hypothesen der empirischen Untersuchung kann aufgrund der unvollständigen Analysen noch keine abschließende Aussage getroffen werden.

Die in H1.1 formulierte Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Schwierigkeit konnte so nicht nachgewiesen werden. Das hängt vor allem damit zusammen, dass hohe Geschwindigkeiten auch in Verbindung mit dem Verlust der Kontrolle über die Steuerung einhergehen. Dieser wird als sicheres Anzeichen für hohe Schwierigkeit gewertet. Daraus folgt, dass bei Kontrollverlust auch bei hohen Schwierigkeiten hohe Geschwindigkeiten erreicht werden. Um die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Schwierigkeit in einer späteren Untersuchung unbeeinflusst klären zu können, ist es notwendig, den Faktor des Kontrollverlustes auszuschließen.

Per Augenschein verhielten sich die Fehlermaße für Fehler 1 und Fehler so, wie es vermutet wurde. Dies reicht jedoch nicht, um eine wissenschaftliche Aussage treffen zu können. Daher kann keine Aussage zu Hypothese H1.2 getroffen werden. Interessant ist die Beobachtung, dass die Fehlermaße Anzahl und Zeit jeweils hoch miteinander korrelieren. Um instruktionswidriges Fahren registrieren zu können, sollten dennoch auch in Zukunft beide Maße verwendet werden.

Die Vermutungen zur Abweichung von der Ideallinie gemäß H1.3 und H1.4 finden sich mit den Ausprägungen dieses Fehlermaßes bei den als schwierig eingestuften Elementen 7, 8, 9 und 10 bestätigt. Sie müssen aber durch genaue Klärung der verursachenden Faktoren erst noch spezifiziert werden.

Bevor die Hypothesen genau eingeschätzt werden können, muss aufgeklärt werden, welches genau die Faktoren sind, welche die mit der Untersuchung gezeigten Unterschiede hervorrufen, können. Es zeigen sich jedoch einige deutliche Hinweise:

Neben der Form der Elemente in Bezug auf den Grad ihrer Krümmung scheinen die Übergangsbereiche der Variablen einen großen Einfluss zu haben. Das würde erklären, warum sich die Elemente 11 bis 13 in ihren Auswirkungen auf die abhängigen Variablen so sehr unterscheiden. Diese Elemente bestehen alle aus einem Kurvenelement mit gleichem Krümmungsgrad, der einzigen Unterschiede bestehen durch verschiedene Ansatzstücke und die Rechts- bzw. Linksgerichtetheit der Kurve. Die Wirkungsweise des Einflusses dieser beiden Faktoren muss noch aufgeklärt werden.

Aufgrund der vorliegenden Daten kann gesagt werden, dass sich die Elemente 7, 8, 9 und 10 insgesamt deutlich von allen anderen Elementen unterscheiden. Das sind die nicht gekippten Viertelkreise und damit die Elemente, die den höchsten Regelungsaufwand im Sinne des Tracking-Paradigmas erfordern. Dass dieser Regelungsaufwand deutlich höher ist, als bei den anderen bogenförmigen Elementen zeigt sich in drastisch höheren Werten für Kontrollverlust und Abweichung von der Mittellinie.

Die vorgenommenen Variationen der Strecke zeigten Wirkung. Daher kann die H1 nicht abgelehnt werden. Diese muss aber erst noch genauer aufgeklärt werden. Deshalb kann die H1 auch noch nicht vorbehaltlos angenommen werden.

### **7.1.2 Vergleich der Versuchsteile**

Die Auswertung der objektiven in Abschnitt 6.5 zeigt Unterschiede zwischen Versuchsteil 1 und Versuchsteil 2. Diese variieren in Abhängigkeit davon, ob Versuchs- oder Kontrollgruppe betrachtet werden.

Beide Fehlermaße – Anzahl und Zeit – für die Fehler 1 und 2 verringern sich sowohl in Versuchs- als Kontrollgruppe. Das bedeutet, dass es einen Wirkungsfaktor gibt, der stärker ist, als der Einfluss der Positionsänderung des Fahrzeuges auf der Bildschirmvertikalen.

Als Faktor kommen hier Übungseffekte in Frage. Ein Vergleich der 4 Übungssequenzen miteinander wird hier Aufschluss bringen, konnte aber noch nicht durchgeführt werden.

Somit kann auch die Kontrollhypothese K1 zur Erwartung von Übungseffekten nicht exakt beantwortet werden. Die Vermutungen werden jedoch durch die Untersuchungsergebnisse gestärkt.

Die Geschwindigkeit erhöht sich bei den Probanden im zweiten Versuchsteil, welche die erhöhte Fahrzeugposition vorfinden deutlich. Das wirkt zunächst paradox. Denn es entspricht nicht den Erwartungen, dass eine Verringerung der Voraussicht aufgrund eingeschränkter

---

Möglichkeiten zur Handlungsplanung eine Verlangsamung der Geschwindigkeit zur Folge haben würde.

Eine Erklärung bietet sich an, wenn man auf das Konzept der Handlungsplanung von Hacker (vgl. Kapitel 2.3) zurückgeht und annimmt, dass nur unter der Bedingung der geringen Voraussicht sensomotorische Prozesse ablaufen und sonst Prozesse der Handlungsplanung stattfinden. Wie beschrieben wurde, sind im Tracking sensomotorische Prozesse gefordert. Daher könnten sich Planungsprozesse als störend erweisen. Wäre dies der Fall, ließe sich damit die Erhöhung der Geschwindigkeit bei geringer Voraussicht erklären.

Dass dies nicht mit instruktionswidrigem Fahren – schneller fahren, dafür aber mehr Fehler in Kauf nehmen – zu erklären ist, zeigt sich an den Werten für die Fehler. Die Fehler 1 und 2 verringern sich sogar, wenn man nur die Versuchsgruppe in beiden Versuchsteilen miteinander vergleicht. Und auch die Abweichung von der Mittellinie ist eher geringfügig kleiner.

Der Kontrollverlust nimmt für beide Versuchsgruppen im zweiten Versuchsteil ab. Das spricht für Übungseffekte, für deren Spezifizierung die Analyse der Übungssequenzen abgewartet werden muss.

Ohne Einfluss einer veränderten Versuchsbedingung unterschieden sich die Versuchsteile bei der subjektiven Belastungseinschätzung nur im Bereich der geistigen Anforderungen und der Ausführung der Aufgaben. Beides spricht für positiven Einfluss von Übung, ohne dass die Motivation der Versuchspersonen zu instruktionsgemäßem Fahren nachlässt.

Unter Einfluss veränderter Versuchsbedingungen bleibt die subjektive Belastung für beide Versuchsteile gleich. Wird die Annahme von Übungseffekten aus dem Vergleich der Versuchsteile bei der Kontrollgruppe übernommen, ist daraus zu schließen, dass die Positionsveränderung einen negativen Effekt hat, der vom Betrag her ungefähr dem der Übung entspricht. Denn nur so kann es zu einem gleich bleiben der Einschätzungen kommen.

Als verursachender Faktor für diesen Effekt kommen Ermüdungsprozesse wie das Nachlassen der Konzentration in Frage.

Alles in allem wurde die H.2 somit durch die Ergebnisse der Untersuchung nicht widerlegt. Zur Annahme der Hypothese fehlen noch eingehendere Wirkungsanalysen.

### **7.1.3 Kontrollhypothesen**

Geschlecht als Einflussfaktor kann durch das Auftreten signifikanter Unterschiede bei den Variablen Kontrollverlust, Zeit für Fehler 2 und Abweichung von der Mittellinie nicht ausgeschlossen werden.

Keine signifikanten Unterschiede konnten daher beim Einfluss von Leistungssport gefunden werden. Damit wird die Nullhypothese zur K2 – Leistungssport hat einen Einfluss – abgelehnt. Die K2 kann damit angenommen werden.

## **7.2 Einschätzung der Methodik zur Streckenerstellung**

Die zu Grunde gelegten Gestaltungsprinzipien haben sich prinzipiell bewährt – das Grundanliegen, Variationen bei der Schwierigkeit hervorzurufen, wurde erreicht.

Es konnte aber noch nicht ausreichend geklärt, wodurch die Unterschiede nun genau verursacht werden, welches neben dem Krümmungsgrad der Kurven die entscheidenden Faktoren sind – Ansatzstücke? Kombinationen? Welche?

Auch sind die Ergebnisse noch nicht so eindeutig, dass sich die Elemente wirklich trennscharf voneinander unterschieden ließen. Es ist auch keine Zuordnung zu den erwünschten drei Schwierigkeitsgraden möglich.

Die Gestaltungsprinzipien sind daher zwar durchaus vielversprechend, an den einzelnen Komponenten der Versuchsstrecke können aber sicherlich noch Optimierungen vorgenommen werden.

Die Bauprinzipien der Strecke haben sich in der Anwendung bei der Erstellung der exemplarischen Strecke für die empirische Untersuchung im Rahmen dieser Untersuchung bewährt. Die Zusammenstellung der Strecke war gut zu handhaben, es standen ausreichend Grundelemente zur Verfügung.

Ein Problem bei Baukästen soll an dieser Stelle aber nicht unerwähnt bleiben: Ist irgendwo ein Fehler vorhanden, kann dieser sich in unangenehmem Ausmaß potenzieren.

Problematisch wird dies, wenn die Zusammenstellungen, die mit Hilfe eines solchen Baukastens entstehen, visuell nur schlecht zu kontrollieren sind. Ein falsches Element in einer Versuchsstrecke lässt sich bei sorgsamem Durchsehen noch aufspüren. Die Farbunterschiede der Kodierungsstreifen sind mit bloßem Auge aber nicht zu erkennen. Und der zusätzliche manuelle Einsatz einer Sensorik kann zwar Abhilfe schaffen, stellt aber auch wiederum eine zusätzliche Fehlerquelle dar.

---

Neben ausgesprochen sorgfältiger Arbeitsweise bietet sich als Lösung für die Farbkodierungen an, diese bereits im Baukasten der Grundelemente miteinander zu verankern. Photoshop bietet diese Möglichkeit. Nun haben zwar alle Farbstreifen ihren festen Platz am linken Bildrand, die Abstände zu den dazugehörigen Grundelementen variiert aber – die Grundelemente sind ja nicht als gerade Strecke angelegt. Dies widerspricht zunächst einer festen Verankerung. Sind die verankerten Elemente aber erstmal in die neue Strecke eingefügt, lässt sich die Verankerung aber auch einfach wieder lösen. Dann bräuchten die Elemente nur noch auf der vertikalen gegeneinander verschoben zu werden. Damit würden zumindest Zuordnungsfehler vermieden werden.

Beim Stichwort Farbkodierungen ist festzuhalten, dass dringender Bedarf besteht, ein geeignetes Konvertierungsverfahren für die verwendeten Graphiken zu finden.

Da die Sensoren aber prinzipiell gut funktioniert haben und sicher alle Elemente voneinander unterschieden haben – schiefgelaufen ist nur die Zuordnung des richtigen Elementnamens – ist dieses Modell durchaus zukunftsfruchtig und sollte beibehalten werden.

Dennoch empfiehlt sich eine zusätzliche Absicherung der Sensoren. Es kann immer irgend etwas nicht so funktionieren, wie es geplant ist. Und in dieser Untersuchung war der doppelte Boden Gold wert. Ohne wäre die Erhebung der Daten umsonst gewesen.

Aufgrund der Vielzahl von Elementen, aus denen eine Versuchsstrecke am Ende besteht, ist es auf jeden Fall empfehlenswert, eine zweite Person zur Kontrolle heranzuziehen. Es ist nicht leicht, am Ende vor lauter Bäumen den Wald noch zu sehen.

Was die Logfileerhebung anbetrifft, besteht hier Bedarf zur Modifikation. Durch die vorliegende Untersuchung haben sich dazu jedoch schon ausreichend Anregungen ergeben. Einige Daten sollten zusätzlich erhoben werden: So wurde der im Prinzip einfach zu erfassende Verlust der Kontrolle über das Steuer nicht erfasst, weil das Problem als solches in den Testläufen nicht auftrat – alle Versuchspersonen gingen da offensichtlich so vorsichtig vor, wie es für die Probanden im Experiment später nicht mehr möglich war. Andere Daten können durchaus weggelassen werden. So wurden die Sensorenwerte für Grün und Blau erhoben, obwohl im Laufe der Vorbereitung der Versuche festgelegt wurde, nur die Rotwerte zu variieren. Grün und Blau bleiben so immer gleich – redundante Informationen.

Die vorhandenen Auswerterroutinen waren eine Hilfe, können aber durchaus noch optimiert werden.

Dringender Bedarf besteht an einer Überarbeitung der Steuerung. Kontrollverlust der Steuerung ist eine Variable, die sich ausgesprochen störend auf eine Untersuchung auswirkt, wenn das nicht explizit das Forschungsthema ist.

Der Verlust des Kontaktes des Mauszeigers mit dem Steuerungsteil könnte möglicherweise vermieden werden, indem beide aneinander befestigt werden. Das erwies sich zwar bisher als unlösbares Problem, sollte aber noch einmal überdacht werden.

Aufgrund der Erfahrungen in dieser Untersuchung sollten auch die bisher abgelehnten Alternativen zur Steuerung mit einer Maus noch einmal überdacht werden. Als sinnvoll könnte sich zum Beispiel eine vergleichende Untersuchung Maus versus Joystick erweisen.

## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine funktionsfähige Versuchsstrecke für die geplanten Trackinguntersuchungen erstellt. Die zu Grunde gelegten Gestaltungsprinzipien haben Potential gezeigt und das Baukonzept hat sich als sehr praktikabel erwiesen.

Mit der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich einige Elemente in ihren Schwierigkeitsparametern deutlich von anderen unterscheiden. Die zugrunde liegenden Faktoren konnten dabei nicht ausreichend identifiziert werden. Das ist weniger, als für diese Arbeit geplant war, aber es ist ein erster Schritt in die richtige Richtung.

Das implizite Vorhaben, überhaupt erst einmal zu testen, ob die geplanten Untersuchungen mit den avisierten Ressourcen – wie zum Beispiel SQUEAK als Entwicklungsumgebung – überhaupt zu realisieren sind, konnte mit positivem Ergebnis abgeschlossen werden.

Darüber hinaus sind viele Ideen für zusätzliche Elemente und mögliche zu variierende Faktoren entstanden, welche die zukünftigen Untersuchungen bereichern werden.

Mit der Analyse der aufgetretenen Fehler und der Anwendung der Analyseergebnisse lässt sich die Versuchsumgebung so verändern, dass sie zukünftigen Untersuchungen noch besser gewachsen ist. Auch wenn die Fehler zum Teil schmerzhaft waren, ist dies als Vorteil zu werten.

Diese Arbeit ist unter dem besonderen Umstand sehr knapper Zeitvorgaben entstanden.

Dadurch konnten wichtige Analysen nicht mehr durchgeführt werden, obwohl das Material dafür in Form zum Teil sehr mühsam aufbereiteter Daten zur Verfügung stand. Im empirischen Teil der Arbeit sind wichtige Hinweise gefunden worden, das gesetzte Ziel der Aufklärung der Schwierigkeitsparameter und der beeinflussenden Faktoren konnte jedoch nicht erreicht werden.

Es hat sich aber gezeigt, dass es durchaus möglich ist, im Team auch in kurzer Zeit so etwas anspruchsvolles wie eine lauffähige Versuchsumgebung zu entwickeln.

Und es konnte bewiesen werden, dass die Datenerfassung einer experimentellen Untersuchung auch in einer Woche zu schaffen ist. Dafür vielen Dank an den Sir.

## 9 Ausblick

Als erstes sind die zu Grunde liegenden Faktoren für die Unterschiede beim Schwierigkeitsgrad der Strecke zu identifizieren. Einen zusätzlichen Ansatz bietet hier der entdeckte Effekt der Übergänge zwischen den Elementen.

Es stellt sich die Frage, ob vielleicht gerade die Übergänge zwischen den einzelnen Elementen als kritische Parameter zu werten sind. Es liegt nahe, einen Vergleich der Elemente in Bezug auf ihren Einfahrts- und Ausfahrtsbereich zu unternehmen. Sollte dieser Vergleich positiv ausfallen, können mit den gewonnen Erkenntnissen die Grundelemente in Bezug auf die Differenzierung der Schwierigkeit optimiert werden.

Um eine genaue Einteilung der Elemente nach den drei geforderten Schwierigkeitskategorien vornehmen zu könnten, sollte ein Maß für die Schwierigkeit entwickelt werden. Denn selbst wenn sich jede einzelne der ausprobierten abhängigen Variablen als von der Schwierigkeit der Strecke beeinflusst herausstellen sollte, es bleibt die Frage, wie diese einzelnen Faktoren miteinander verrechnet werden können.

Neben Optimierungsbedarf an der Versuchsstrecke selbst und der Durchführung der noch offen stehenden Analyseschritte haben sich für zukünftige Untersuchungen einige interessante Ansätze ergeben:

Es scheint Unterschiede in den Fahrstilen zu geben, die sich möglicherweise an unterschiedlichen Auslegungen der Geschwindigkeits-Genauigkeits-Instruktion festmachen lassen. Auch bei Einhalten der Instruktion bleibt ja die Erwägung offen, in welchem Bereich man Fehler eher Kauf nimmt, wenn Fehlerfreiheit ausgeschlossen ist.

Aus den Beobachtungen während der Durchführung der Experimente entstand auch die Überlegung, ob es Alterseffekte geben könnte, die für die späteren Assistenzfunktionen interessant sein könnten. So zeigte mehr als eine der älteren Versuchspersonen deutliche Anzeichen für große Unzufriedenheit mit der eigenen Leistung. Obwohl es aus objektiver Sicht dafür keinen Anlass gab – die betreffenden Personen waren nicht schlechter, als die anderen auch.

---

## 10 Literaturverzeichnis

Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996). Kap. 14.1 Arbeit und Leistung. In: Biologische Psychologie. Springer-Verlag: Berlin – Heidelberg – NewYork.

Bortz, J. (1999). Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag: Berlin – Heidelberg – NewYork.

Brickenkamp, R., Holling, H., Leutner, D., Petermann, F. (2002). Brickenkamp Handbuch psychologischer und pädagogischer Tests. Hogrefe Verlag für Psychologie: Göttingen.

Bronowski, J. [Hrsg.] (1970). Die Welt der Technik. Von den Anfängen der Technik bis zur Automation. Verlag Buch und Welt: Klagenfurt.

Deutsches Institut für Normung. DIN 19226-1, Ausgabe: 1994-02. Leittechnik; Regelungstechnik und Steuerungstechnik; Allgemeine Grundbegriffe. Beuth Verlag: Berlin – Wien – Zürich.

Gälli, M., Denker, M. (2004). Von kleinen und großen Erfindern. In: c't, Heft 7, 2004 (S. 216-222). Heise Zeitschriften Verlag GmbH & Co KG.

Giesa, H.G. (2003). Die Bewertung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen. ZMMS Spektrum Band 17. Fortschr.Ber. VDI Reihe 22 Nr. 13. VDI-Verlag: Düsseldorf.

Giesa, H.G.; Timpe, K.-P. (2002). Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit. In Timpe, K.-P.; Kolrep, H.[Hrsg.]: Mensch-Maschine-Systemtechnik. Symposion Publishing GmbH: Düsseldorf.

Guzdial, M. (2001). Squeak: Object-Oriented Design with Multimedia Applications. Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.

Häcker, H., Stapf, K.H. (1998). Dorsch Psychologisches Wörterbuch. Verlag Hans Huber: Bern.

Hart, S. & Staveland, L. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index) – Results of Empirical and Theoretical Research. In Hancock, P. & Meshkati, N. [Hrsg.]: Human Mental Workload (S.139-183). North Holland B.V.: Amsterdam.

Hauss, Y.; Timpe, K.-P. (2002). Automatisierung und Unterstützung in Mensch-Maschine-Systemen. In Timpe, K.-P.; Kolrep, H.[Hrsg.]: Mensch-Maschine-Systemtechnik. Symposion Publishing GmbH: Düsseldorf.

Johannsen, G. (1993). Mensch-Maschine-Systeme. Springer-Verlag: Berlin – Heidelberg – NewYork.

Johannsen, G., Pfendler, C. (1983). Mental workload and performance under different degrees of uncertainty in fault management situations. Proc. 3<sup>rd</sup> European Annual Conference Human Decision Making and Manual Control (S. 285-297): Roskilde.

Oppelt, W., Vossius, G. [Hrsg.] (1970). Der Mensch als Regler. VEB Verlag Technik: Berlin.

- 
- Pfendler, C. (1991). Vergleichende Bewertung des NASA-TLX Skala und der ZEIS-Skala bei der Erfassung von Lernprozessen. Forschungsinstitut für Anthropotechnik, FAT Report Nr. 92: Wachtberg.
- Pfendler, C.; Pitrella, F.D. Wiegand, D. (1995). Messung der Beanspruchung bei der Systembewertung. Forschungsinstitut für Anthropotechnik, FAT Report Nr. 115: Wachtenberg.
- Rohmert, W. & Rutenfranz, J.(1975). Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Forschungsbericht. Bonn: Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung.
- Russell, D.M., Sternad, D. (2001). Sinusoidal Visuomotor Tracking: Intermittent Servo-Control or Coupled Oscillations? In Journal of Motor Behavior. 2001 Vol.33, No.4 (S. 329-349).
- Ulich, E. (2001). Arbeitspsychologie (S.437-441). Vdf Hochschulverlag: an der ETH Zürich: Zürich; Schäffer-Poeschel: Stuttgart.
- van der Meulen J.H., Gooskens, R.H., Willemse, J., Denier van der Gon, J.J., Gielen C.C. (1990). Armtracking performance with and without visual feedback in children and adults: developmental changes. Journal of Motor Behavior. 1990 Vol. 22, No.3 (S.386-405).
- Wandke, H.: Beitrag zum DFG-Antrag für das Graduiertenkolleg prometei. (2004).
- Weise, G. (1997). Straßenbau: Planung und Entwurf. Verlag für Bauwesen: Berlin.
- Wiehler, H.-G. (1996). Straßenbau: Konstruktion und Ausführung. Verlag für Bauwesen: Berlin.

---

## Anhang