

punkt des Soll-Kreuzes markiert die Mitte des Displays. Der Mittelpunkt des Ist-Kreuzes entfernt sich mit wechselnder Geschwindigkeit und Richtung vom Mittelpunkt des Soll-Kreuzes (vgl. Abb. 4-7). Der Proband wird angewiesen, mit Hilfe eines Joysticks, der mit der rechten Hand bedient wird, die Positionsdifferenz der beiden Mittelpunkte der Kreuze zu minimieren. Durch Wahl der Ablenkgeschwindigkeit und -richtung kann der Schwierigkeitsgrad der *Tracking-Aufgabe* manipuliert werden (Tsang & Velazquez, 1996). Die Schwierigkeitsstufen *niedrig* und *hoch* werden durch unterschiedliche Ablenkgeschwindigkeiten des Ist-Kreuzes realisiert.

Die abhängige Variable in diesem Versuch ist die Fehlerrate. Sie wird operationalisiert durch die mittlere Positionsdifferenz der beiden Mittelpunkte von Ist- und Soll-Kreuz während eines Versuchsdurchlaufs. Die Position des Ist-Kreuzes wurde mit einer Frequenz von 10 Hz aufgezeichnet.

Readback

Die Wiederholungsaufgabe *Readback* bildet typische Kommunikationsvorgänge im Cockpit ab und erzeugt kognitive, auditive und verbale Belastung. Der Proband wird angewiesen, sich eine vorgelesene Zahlenreihe zu merken, die Reihenfolge dieser Zahlen zu invertieren und nach einer akustischen Aufforderung die geänderte Zahlenreihe vorzusprechen. Die auditive Belastung wird durch das Hören der Zahlsequenz, die kognitive Belastung durch das Merken und eine Manipulation der gehörten Sequenz und die verbale Belastung durch das Vorsprechen der geänderten Sequenz erreicht.

Die Schwierigkeit der Aufgabe kann durch die Anzahl der Zahlen, die Vorlesegeschwindigkeit, den Beginn des Vorlesens der neuen Zahlenreihe nach dem Ende der Vorherigen, den Antwortzeitraum und den vorgegebenen frühesten Zeitpunkt des Wiederholens der umgekehrten Zahlenreihe beeinflusst werden (vgl. Abb. 4-7). Die beiden Schwierigkeitsstufen *niedrig* und *hoch* werden durch die Anzahl der vorgelesenen Zahlen dargestellt. In der leichten Variante sind dies vier, in der schweren sechs Ziffern. Die anderen Variationsmöglichkeiten bleiben unverändert und haben folgende Werte:

Tab. 4-5: Festlegung der Versuchsparameter der Zusatzaufgabe *Readback-Aufgabe*

Parameter	Werte
Vorlesegeschwindigkeit	1 Zahl/s
Zeit zwischen zwei Sequenzen (Ende bis Anfang)	2 s
Wartezeit zwischen Vorlesen und Antwort	0 s
Antwortzeitraum	8 s

Die abhängige Variable in diesem Versuch ist die Fehlerrate. Sie wird operationalisiert durch Anzahl und Reihenfolge richtig wiederholter Ziffern. Hieraus wird der Grad der Aufgabenerfüllung *A* ermittelt. Zur Bestimmung der Aufgabenerfüllung der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe der *Readback-Aufgabe* wird die folgende Bewertungsformel verwendet (Eichinger, 2010):

$$A = \frac{j + k}{n + n \cdot 0,5 \cdot (n - 1)};$$

j: Anzahl der richtig wiederholten Zahlen

k: Anzahl der richtig wiederholten Zahlen multipliziert mit einer gewichteten Wertung der richtigen Position richtiger Zahlen in der Zahlenreihe

n: Anzahl der Ziffern in der vorgelesenen Zahlenreihe

4.2.3. Ablauf

Die Usability-Untersuchung besteht aus den beiden Versuchsteilen *ST* und *MT*. Die Zeigeaufgaben werden in jedem Evaluationsteil simultan mit den Zusatzaufgaben in den unterschiedlichen Aufgabenkombinationen bearbeitet.

Versuchsvariationen					
Bedienelemente:	Zeigeaufgaben:	Zusatzaufgaben:	Schwierigkeitsstufe:	Aufmerksamkeitsverteilung:	
Touchscreen	Single Targets	Sternberg Aufgabe	Niedrig	80:20	2x2x4x2x3=96
Trackball	Multiple & Moving Targets	Motorische Aufgabe	Hoch	50:50	
		Visuelle Suchaufgabe		20:80	
		Komplexe Aufgabe			
2x2=4		4x2=8			Σ: 4+8+96=108

Abb. 4-8: Übersicht der Versuchsvariationen, die aus den Kombinationen von Zeige- und Zusatzaufgaben und deren Ausprägungen resultieren. Werden Zeige- und Zusatzaufgaben exklusiv bearbeitet ergeben sich 12 Variationen (4+8). Werden die Aufgaben gleichzeitig bearbeitet, sind 96 Versuchsvariationen möglich. In Summe sind von jeder Versuchsperson 108 Versuchsdurchgänge zu absolvieren.

Jede Kombination wird in der Zeigeaufgabe einmal mit dem Touchscreen und einmal mit dem Trackball bearbeitet. Die Versuchsteilnehmer erhalten vor jedem Versuchsdurchgang Anweisungen über das zu verwendende Eingabegerät, die Zeigeaufgabe sowie die Art und Schwierigkeit der Zusatzaufgabe und die beabsichtigte Verteilung der Aufmerksamkeit auf Zeige- und Zusatzaufgabe. Dies erfolgt mit dem Ziel, reproduzierbare und klassifizierbare Versuchsdurchläufe mit einer eindeutigen Zuweisung der Bedienleistung zu Eingabegerät und Belastungskontext zu generieren. Damit sich Trainingseffekte nicht in den Leistungsdaten niederschlagen, wurde die Reihenfolge der Kombinationen aus Zeige- und Zusatzaufgaben für jeden Versuchsteilnehmer randomisiert. Die Vorstellung der Aufgaben wurde in der Vorbereitung der Versuche schriftlich festgelegt und jedem Versuchsteilnehmer vorgelesen (vgl. Anhang E). Das Training der Probanden setzte sich aus Übungsdurchgängen zusammen, die aus den einzelnen Zeige- und Zusatzaufgaben sowie repräsentativen Kombinationen der beiden bestanden. Die Vorstellung der Aufgaben sowie die Trainingsphase sind für die zwei Evaluationsteile inhaltlich unterschiedlich, innerhalb dieser Teil-

le jedoch für jeden Probanden gleich gestaltet. Dadurch wurde jedem Teilnehmer bei Versuchstart das gleiche Wissen und die gleiche Übungsmöglichkeit zur Verfügung gestellt.

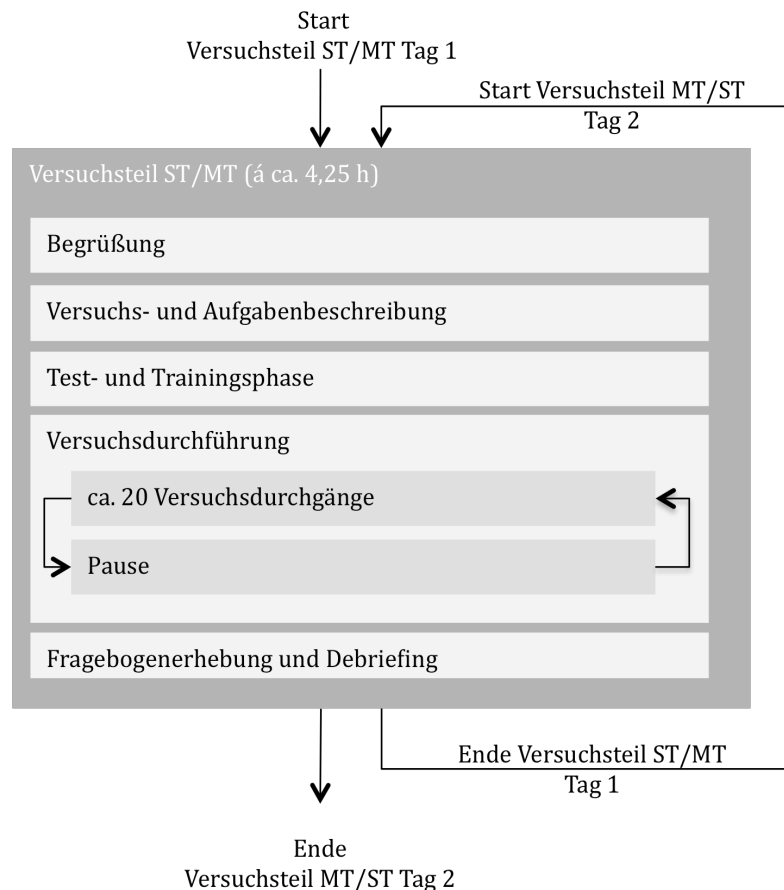


Abb. 4-9: Flussdiagramm zum Ablauf der beiden Versuchsteile ST und MT, die aufgrund ihrer Dauer von mehr als vier Stunden an unterschiedlichen Tagen durchgeführt wurden. Es wurde abwechselnd mit Versuchsteil ST und MT am ersten Versuchstermin begonnen, um die Auswirkungen von Lerneffekten auf die Versuchsergebnisse gering zu halten. Jeweils 20 Versuchsdurchgängen folgte eine Pause von 15 min. Dieses Vorgehen wurde wiederholt, bis alle Versuchsdurchgänge eines Versuchsteils absolviert waren.

Nach der Vorstellung der Aufgaben und der Trainingsphase wird mit der Durchführung der Versuchsläufe sowie mit der Datenaufzeichnung begonnen. Nach jedem Durchlauf wird mit Hilfe des CWP-Fragebogens die Belastungsstruktur des soeben durchgeführten Durchgangs erhoben (vgl. Anhang D). Die Dauer eines Durchlaufs beträgt jeweils 90 sec. Für die Durchführung eines Versuchsdurchgangs und der Beantwortung des Fragebogens muss für einen Versuchsdurchgang eine Dauer von ca. 3 min eingeplant werden. Die Versuchsteile ST und MT bestehen aus je 48 Durchgängen, die sich aus der Kombination von Eingabegerät und Versuchskontext ergeben (2x4x2x3). Hinzu kommen die Durchläufe, in denen die Eingabeleistung für Zeige- und Zusatzaufgaben separat erhoben wird. In den beiden Zeigaufgaben sind vier Eingabevarianten mit den beiden Bedienelementen (2x2), in den Zusatzaufgaben acht Kombinationen aus Aufgabe und Schwierigkeitsstufe möglich (4x2) (vgl. Abb. 4-8).

Die Gesamtdauer beträgt alleine für die insgesamt 108 Versuchsdurchgänge ohne Pausen ca. 5,4 Stunden. Für Begrüßung, Vorstellung der Aufgaben und Training sind für jede Zeigaufgabe ca. 0,5

Stunden einzuplanen. Die Beantwortung des Fragebogens zur Nutzerzufriedenheit sowie das abschließende Beurteilungsgespräch der Evaluation durch die Probanden dauert nochmals ca. 0,5 Stunden. Es ergibt sich daraus eine Gesamtdauer der Versuche ohne Pausen von knapp 7,5 Stunden. Die Durchführung der Evaluation an einem Stück ist aufgrund von Ermüdungserscheinungen und terminlicher Randbedingungen nicht möglich. Die Evaluation wird daher in zwei Teile aufgeteilt, die zeitlich getrennt bearbeitet werden. Die Aufteilung erfolgt anhand der Zeigeaufgabe in die beiden Versuchsteile ST und MT. In den beiden Versuchsteilen wird nach jeder Stunde Versuchszeit, was etwa 20 Versuchsdurchgängen entspricht eine Pause von 15 min gemacht. Dieses Pausenintervall wird den Versuchspersonen zu Beginn der Versuche vom Versuchsleiter vorgeschlagen. Der Proband hat jederzeit die Möglichkeit den Versuchsdurchgang außerhalb dieser Intervalle zu unterbrechen oder abbrechen. Die Gesamtdauer der beiden Versuchsteile beträgt etwa 8,5 Stunden (vgl. Abb. 4-9).

4.3. Instrumente und Messgeräte

4.3.1. Versuchsumgebung

Basierend auf den Ergebnissen der Analyse des Antwortverhaltens des Hand-Arm-Systems auf Schwingungen im Cockpit in Kap. 3.5 ist für Bedienhandlungen auf Großflächendisplays mit praktisch keiner Beeinträchtigung der Bedienleistung durch Beschleunigungen oder Vibrationen zu rechnen. Die experimentellen Untersuchungen dieser Evaluation finden daher unter Laborbedingungen auf einer nicht bewegten Plattform statt.

Die Versuche werden in einem aus Holz und Kunststoff gefertigten und variabel anpassbaren Mock-Up durchgeführt. Es verfügt über unterschiedliche Befestigungsvorrichtungen zur Integration der Gerätschaften für Anzeige und Bedienung. Eine korrekte, der Sitzhaltung des Piloten im Eurofighter entsprechende Sitzposition der Versuchsperson wird durch einen elektrisch verstellbaren Schleudersitz ohne Ausschussfunktion und durch eine, den Pedalen im Flugzeug nachempfundene, Fußauflage sichergestellt. Durch Verstellmöglichkeiten des Sitzes kann die Sitzposition der Versuchsperson so eingestellt werden, dass sich der Augpunkt der Versuchsperson im DEP befindet.

Die optischen Anzeigegeräte bestehen aus zwei LC-Displays, dem Großflächendisplay und einem Display, das sich direkt über dem Großflächendisplay befindet und daher im Folgenden als *Head-Up-Display* bezeichnet wird. Als Großflächendisplay wird ein 30" berührsensitives Display mit einer optischen Auflösung von 2560 px mal 1600 px und einem Seitenverhältnis von 16:10 verwendet. Für die Integration der Touchscreenfunktion wurde ein IR-Touchscreen aus der Baureihe SlimLine L-Series von der Firma IRTOUCH verwendet. Die Integration der beiden Geräte erfolgte bei EADS MAS. Das Touchscreen-Gerät besteht aus einer 6 mm hohen und 10 mm breiten Leiste, die am Displayrand befestigt ist. Das dadurch erzeugte und berührungssensitive Gitter aus IR-Strahlen befindet sich 2 mm bis 4 mm vor der Displayoberfläche. Die Kreuzform des Großflächendisplays wurde durch die Integration einer Rahmenleiste auf das Großflächendisplay erreicht (vgl. Abb. 4-10). Die Einbauposition des Großflächendisplays richtet sich nach den Vorgaben in Kap. 3.2 und wurde dementsprechend in das Mock-Up eingebaut.

Das *Head Up Display* ist ein 19" LC-Display mit einer Auflösung von 1280 px mal 1024 px und einem Seitenverhältnis von 4:3. Die Breite des Displays beträgt 365 mm, die Höhe 316 mm. Es dient zur Darstellung der visuellen Anteile der Zusatzaufgaben und ist daher entsprechend der Position des *Head Up Displays* im Flugzeugcockpit mittig oberhalb des Großflächendisplays angebracht. Die Oberfläche des Displays ist zur optimalen Lesbarkeit der dargestellten Information senkrecht zur Sichtachse der Versuchsperson ausgerichtet (vgl. Abb. 4-10).

Neben dem direkten Eingabegerät IR-Touchscreen steht der seitensymmetrische Trackball Trackman® Marble® von Logitech als indirektes Bedienelement des Großflächendisplays zur Verfügung. Der Trackball ist auf der linken Seite der Versuchsperson montiert. Seine Position entspricht der Position des Schubhebels im Eurofighter (vgl. Kap. 3.2).



Abb. 4-10: *Mock-Up mit den Anzeigegeräten Großflächendisplay und Head-Up-Display und den Bediengeräten Trackball, Touchscreen und Joystick. An der Position des Joysticks wurden je nach Zusatzaufgabe die Bedienelemente Lochbrett oder Tastatur befestigt. Touchscreen und Trackball wurden mit den im Eurofighter verwendeten Pilotenhandschuhen bedient. Touchscreen und Rahmenleiste sind in die Gerätestruktur des Großflächendisplays integriert.*

Für die Bedienung der Zusatzaufgaben sind die Interaktionsgeräte Joystick (*Komplexe Zusatzaufgabe*), Tastatur (*Visuelle Suchaufgabe*) und Lochbrett (*Motorische Aufgabe*) vorgesehen. Diese Geräte befinden sich auf der rechten Seite der Versuchsperson. Je nach Zusatzaufgabe wird eines dieser drei Geräte montiert. Es wird dieselbe Haltevorrichtung für Joystick, Tastatur und Loch-

brett verwendet. Alle Eingabegeräte sind angenehm und ohne Zwangshaltung zu erreichen und zu bedienen. Die Position der Gerätschaften ist in Abb. 4-10 zu sehen.

Die Darstellung der Aufgaben und die Dokumentation der Versuchsdaten erfolgt mit drei Rechnern. Rechner Nr. 1 dient zur Darstellung und Bedienung der Zeigeaufgabe sowie zur Speicherung der Daten dieser Aufgabe. Er ist im Mock Up installiert. Die beiden weiteren Rechner werden zur Darstellung, Bedienung, Datenaufzeichnung und Steuerung der Zusatzaufgaben verwendet. Sie befinden sich in unmittelbarer Nähe der Anzeigen und Bediengeräte und werden vom Versuchsleiter bedient. Ein Überblick aller Geräte befindet sich in Anhang F.

4.3.2. Software

Die Darstellung und Datenerfassung der Zeige- und Zusatzaufgaben erfolgte bis auf die motorische Zusatzaufgabe mit speziellen Softwareprogrammen. Für die Zeigeaufgaben wurde die Java-Applikation *PANDIS-INTERACT* verwendet, die zusammen mit der Fachhochschule St. Pölten entwickelt wurde. Sie ermöglicht eine zeitgesteuerte Darstellung einer beliebigen Anzahl anwählbarer bewegter und statischer Symbole sowie die Aufzeichnung aller Parameter der Bedienhandlungen. Die Anwendungen dieser Software für die Zeigeaufgaben ST und MT sind in Kap. 4.2.1 zusammengefasst. Die Auswertung der Fingerposition und das Erzeugen von Eingabeereignissen auf dem Touchscreen erfolgte durch eine im Rahmen dieser Arbeit dafür entwickelte, multitouchfähige Software *PANDIS-MULTITOUCH*. Dadurch wurde die Eingabeform der Letzt-Kontakt-Methode (vgl. Kap. 2.3.3) realisiert und auf die Bedürfnisse der Untersuchung angepasst.

Zur auditiven Darstellung der *Sternberg* und der *Readback* Zusatzaufgabe wurde uns von der Daimler AG die Software *CoTa Version 1.1* zur Verfügung gestellt (Daimler Chrysler AG, 2004). Die Eingabe und Speicherung der Versuchsdaten dieser beiden Aufgaben fand ebenfalls mit *CoTa Version 1.1* statt. Die Darstellung der visuellen Zusatzaufgabe wie auch die Aufzeichnung der Versuchsdaten erfolgte mit *Visual Task 2.2* (Kuhn, 2005). Für die Ansteuerung, Darstellung und Datenaufzeichnung der *Tracking-Aufgabe* wurde die Software *PANDIS-TRACKING 1.1* im Rahmen dieser Untersuchung erstellt. Eine Zusammenfassung der verwendeten Softwarepakete befindet sich in Anhang G.

4.3.3. Fragebögen

Die Maße Nutzerakzeptanz und Belastung werden durch Fragebögen erfasst. Zur Erhebung der Belastung wird der Fragebogen „Cockpit Workload Profile“ (CWP) verwendet (Kellerer & Eichinger, 2008). Der CWP wurde bereits im Vorfeld zur Bestimmung der Belastungsstruktur in Cockpits hochagiler militärischer Flugzeuge herangezogen (vgl. Kap. 3.3.2) und dient im Rahmen dieser Evaluation der Überprüfung der Belastungsstruktur der kombinierten Zeige- und Zusatzaufgaben. Der Fragebogen wird von den Versuchspersonen im direkten Anschluss nach jedem Versuchsdurchgang ausgefüllt.

Die Nutzerzufriedenheit wurde durch die standardisierten Fragebögen „System Usability Scale“ (SUS) (Brooke, 1996), „Post Study System Usability Questionnaire“ (PSSUQ) (Lewis, 2002) und ISO 9241-9 (2002) jeweils am Ende der beiden Versuchstermine erfasst. Der PSSUQ wurde an einigen Stellen gekürzt, da sich verschiedene Fragen auf den Verwendungskontext *Software-*

Evaluation beziehen und eine mögliche Verunsicherung der Versuchspersonen durch uneindeutige Fragen vermieden werden sollte. Es wurden darum die Fragen 1 bis 12 des Fragebogens der Norm ISO 9241-9 (2002), die Fragen 1 bis 6 und 13 bis 16 des Fragebogens PSSUQ und die Fragen 1 bis 10 des Fragebogens SUS übernommen.

Am Ende der Usability-Untersuchung wird von den Probanden der Fragebogen „Nutzerzufriedenheit - Evaluation eines Bedienelements für Großflächendisplays“ zur abschließenden Erhebung der Nutzerzufriedenheit der beiden getesteten Bediengerätvarianten Touchscreen und Trackball vorgelegt. Der Fragebogen wurde für diese Evaluation angefertigt, da verschiedene Inhalte durch die standardisierten Fragebögen nicht erfasst werden. Er bezieht sich auf die Komponenten Anthropometrie, Rückmeldung, Realitätsnähe und Gestaltung der Zeige- und Zusatzaufgaben und enthält Fragen zur allgemeinen Zufriedenheit mit dem Versuchsaufbau wie auch zu speziellen Gestaltungsdetails. Eine Übersicht der verwendeten Fragebögen befindet sich im Anhang H.

4.4. Stichprobenkonstruktion

Bei der Auswahl von Piloten für den zivilen und militärischen Einsatz werden hohe physische und psychische Anforderungen an die Bewerber gestellt. Zur Sicherstellung der Erfüllung dieser Anforderungen finden umfangreiche Untersuchungen und Eignungstests der Bewerber statt. Diese Voraussetzungen gelten ebenfalls für die Teilnahme an dieser Evaluation, da Auswirkungen auf die Eingabeleistung zu erwarten sind. Die Versuchspersonen mussten daher als Nachweis dieser speziellen Qualifikation eine erfolgreiche Teilnahme an einem Auswahlverfahren für Piloten vorweisen können. Durch ihre besonderen Fähigkeiten und Kenntnisse als Experten im Bereich Flugzeugcockpit wurden Testpiloten für die Teilnahme an der Untersuchung bevorzugt. Mit dem Ziel möglichst alle Alters- und Erfahrungsgruppen der Nutzerpopulation zu berücksichtigen, wurden Piloten unabhängig von deren Alter und Erfahrung zur Teilnahme an den Versuchen eingeladen (Gruber, 1994; Hörmann & Lorenz, 2009).

Die in den Vorversuchen ermittelten Leistungsdaten in Zeige- und Zusatzaufgabe lassen einen deutlichen Performanzvorteil des Touchscreens gegenüber dem Trackball erwarten. Es kann deshalb im Rahmen der statistischen Analyse von einer sehr großen Effektgröße $\epsilon' = 0,8$ ausgegangen werden. Aufgrund der erwarteten Effektgröße ist die optimale Anzahl an Versuchspersonen $n_{opt} = 11$ (Bortz & Döring, 2006).

4.5. Untersuchungsdurchführung

Die Untersuchung fand wie in Kap. 4.2.3. beschrieben für jede Versuchsperson an zwei Terminen statt. Der Fragebogen CWP wurde direkt nach den einzelnen Versuchsdurchgängen, die Fragebögen zur Nutzerzufriedenheit am Ende eines jeden Versuchstermins ausgefüllt. Die Dauer dieser Versuchseinheiten betrug zwischen 4,5 und 5,5 Stunden. Die unterschiedliche Dauer der Versuchstermine ergab sich aus der individuellen Länge der benötigten Pausen und dem Versuchsfortschritt, der direkt aus der Geschwindigkeit resultierte, mit der die Probanden die Fragebögen ausfüllten. Aufgrund der hohen Flugaktivitäten der Versuchspersonen und der langen Dauer der drei Versuchseinheiten von bis zu 5,5 Stunden erstreckte sich die Durchführung der Versuche über einen Zeitraum von vier Monaten.

Die Erhebungen wurden in den klimatisierten Laborräumen der Abteilung *Human Factors Engineering* der EADS MAS am Standort Manching durchgeführt. Akustische, visuelle und haptische Ablenkungen jeder Art konnten für die Dauer der Versuche vermieden werden. Die Räumlichkeiten konnten sowohl von den Versuchsleitern wie auch von den Versuchsteilnehmern zu Fuß erreicht werden. Die Versuchspersonen wurden in den Versuchspausen zur physischen Regeneration mit Getränken und Lebensmitteln versorgt.

Keine der Versuchspersonen hat die Teilnahme vor Beendigung der drei Versuchstermine abgebrochen. Die Piloten waren aufgrund der Inhalte und Ziele der Untersuchung sehr interessiert und nahmen, auch im Hinblick auf die relativ lange Dauer der Versuchseinheiten und oftmals gleichartigen Versuchsbedingungen mit sehr großem Eifer und Engagement an der Evaluation teil.

4.6. Datenerhebung und Analyse

Die Leistungsdaten für Zeige- und Zusatzaufgaben wurden mit der in Kap. 4.3.2 beschriebenen Software erhoben und dokumentiert (vgl. Tab. 4-6). Dabei wurden zunächst Rohdaten, wie z.B. Ort, Zeitpunkt und Abstand zur Zielfläche bei einer Touchscreeneingabe, abgespeichert. Die Rohdaten umfassen sämtliche Information zur Ermittlung von Effizienz- und Effektivitätsmaßen in Zeige- und Zusatzaufgabe. Die Auswertung der Rohdaten erfolgte mit Microsoft Excel. Die Leistung wurde hinsichtlich benötigter Zeit zur Zielanwahl, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe sowie hinsichtlich der Leistungsmaße in der Zusatzaufgabe ermittelt. Die Leistungsdaten gleicher Versuchsbedingungen wurden zunächst für jede Versuchsperson einzeln durch Bildung des arithmetischen Mittels zusammengefasst und im Anschluss daran über alle Versuchspersonen gemittelt. Diese Daten finden sich in Kap. 5 als Mittelwert und Standardfehler wieder und bildeten die Grundlage der T-Test-Analyse. Die Daten werden aufgrund der Genauigkeit der erhobenen Werte jeweils mit einer Genauigkeit von zwei Nachkommastellen, Prozentwerte mit einer Genauigkeit von drei Nachkommastellen angegeben.

Die Erhebung der Belastungsdaten erfolgte im Anschluss an jeden Versuchsdurchgang anhand des Fragebogens CWP (vgl. Kap. 4.3.3). Die Daten zur Nutzerzufriedenheit wurden mittels mehrerer standardisierter Fragebögen am Ende eines jeden Versuchstermins zusammenfassend für die jeweilige Zeigeaufgabe erhoben (vgl. Kap. 4.3.3).

Tab. 4-6: *Übersicht der Leistungsmaße der abhängigen Variablen zur Erhebung der Bedienleistung in Zeige- und Zusatzaufgaben mit Angabe der Einheit und der Beschreibung des Leistungsmaßes.*

Aufgabe	Leistungsmaß (Einheit)	Beschreibung
ST	Bedienzeit (ms)	Zeit zwischen Einblenden und Anwahl eines Ziels. Dieses Zeitintervall wird für jede richtige Eingabe dokumentiert.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Eingaben ohne Zielauswahl. Für jeden Fehler wird Eingabe- und Zielposition dokumentiert.
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	Anzahl nicht ausgewählter Ziele pro Versuchsdurchgang.

Kapitel 4 · Evaluation der Bedienelemente

Aufgabe	Leistungsmaß (Einheit)	Beschreibung
MT	Bedienzeit (ms)	Zeitdauer für die Anwahl der Ziele. Diese wird pro Zielkonfiguration aus der Dauer zwischen Einblenden der Ziele (max. 10 s) und der letzten richtigen Zielauswahl und der Anzahl (max. 3) der richtigen Eingaben ermittelt und als arithmetischer Mittelwert angegeben.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Eingaben ohne Zielauswahl. Für jeden Fehler wird Eingabe- und Zielposition dokumentiert.
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	Anzahl nicht ausgewählter Ziele pro Versuchsdurchgang.
Sternberg Aufgabe	Eingabezeit (ms)	Zeit zwischen dem Hören der Kontroll-Zahl und der verbalen Antwort.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falscher Urteile der Zugehörigkeit der Kontroll-Zahl pro Versuchsdurchgang.
Visuelle Suchaufgabe	Auswahlrate (1/90 s)	Anzahl der richtigen Seitenwahlen pro Versuchsdurchgang.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falsch ausgewählter Seiten pro Versuchsdurchgang.
Motorische Aufgabe	Eingaberate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge für die Zeit eines Versuchsdurchgangs.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge in der falschen Reihenfolge.
Tracking	Fehlerrate (mm)	Durchschnittliche Abweichung des bewegten Kreuzes von der Sollposition.
Readback	Erfüllungsgrad (-)	Anzahl richtig wiederholter Zahlen und die richtige Reihenfolge der Zahlen der verbalen Antwort.

5. Ergebnisse und Diskussion

In Kapitel 4 wurde das experimentelle Vorgehen zur Evaluation der Bedienelemente Touchscreen und Trackball im Verwendungskontext militärischer Flugzeugcockpits betrachtet.

Im Folgenden werden die zur Hypothesenprüfung notwendigen Ergebnisse der beiden Versuchsteile, aufgeteilt in die Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe, Belastungsstruktur und Nutzerzufriedenheit zusammengefasst und interpretiert. Die Auswertung der Leistungsdaten erfolgt durch Signifikanztests, welche die Eingabeleistung des Touchscreens und des Trackballs in den Zeigeaufgaben sowie die Leistung in den Zusatzaufgaben miteinander vergleichen.

Der kritische T-Wert der Signifikanzanalyse beträgt für elf Testpersonen $t_{(krit)}=1.812$.

5.1. Stichprobenbeschreibung

An den Tests nahmen 11 männliche Personen im Alter von 28 bis 53 (Mittelwert = 42,5 a, Standardabweichung = 9,1 a) Jahren teil. Die Flugerfahrung der Stichprobe mit modernen hochagilen Flugzeugen beträgt durchschnittlich 3100 Stunden (Standardabweichung = 1800 h). Eine der elf Testpersonen war Linkshänder. Die Versuchsteilnehmer wiesen normale oder auf normal korrigierte Sehfähigkeit auf.

5.2. Versuch 1: Single Targets

Der Versuchsteil *Single Targets* betrachtet die Unterschiede der Usability der Bedienelemente Touchscreen und Trackball für die Anwahl einzelner, auf der gesamten Displayfläche verteilter Ziele unter Zusatzbelastung.

5.2.1. Leistung in der Zeigeaufgabe

In der Zeigeaufgabe ST hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, einzelne, sequentiell dargestellte Zielsymbole möglichst schnell und genau anzuwählen. Die Ziele waren gleichmäßig über die gesamte Displayfläche verteilt. Diese Aufgabe musste mit und ohne gleichzeitiger Zusatzbelastung bearbeitet werden (vgl. Kap. 4.2.1.1 & Kap. 4.2.2). Die Leistung in der Zeigeaufgabe ST setzt sich aus Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungen zusammen (vgl. Tab. 5-1).

Die Darstellung der Leistungsdaten in der Zeigeaufgabe erfolgt für jede Kombination der Zeigeaufgabe mit den vier Zusatzaufgaben in einem Diagramm, das die Leistung in den Aufgaben anhand der Mittelwerte (MV) und Standardfehler (SE) der abhängigen Variablen zeigt. Zu den Leistungsdaten der Zeigeaufgabe mit Zusatzaufgabe werden als Referenz die Leistungsdaten ohne Zusatzaufgabe in den Diagrammen dargestellt. Dadurch soll der Einfluss der Zusatzaufgabe auf die Grundleistung in der Zeigeaufgabe verdeutlicht werden.

Die Leistungsdaten in der Zeigeaufgabe werden zusammen mit den Ergebnissen der Signifikanzanalyse zur besseren Übersichtlichkeit und Vergleichsmöglichkeit in jeweils einer Tabelle dargestellt.

Tab. 5-1: Überblick der abhängigen Variablen der Zeigeaufgabe Single Targets zur Bestimmung der Bedienleistung mit Angabe der Einheit und Beschreibung.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
ST	Bedienzeit (ms)	Zeit zwischen Einblenden und Anwahl eines Ziels. Dieses Zeitintervall wird für jede richtige Eingabe dokumentiert.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Eingaben ohne Zielauswahl. Für jeden Fehler wird Eingabe- und Zielposition dokumentiert.
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	Anzahl nicht ausgewählter Ziele pro Versuchsdurchgang.

5.2.1.1. Bedienleistung ohne Zusatzaufgabe

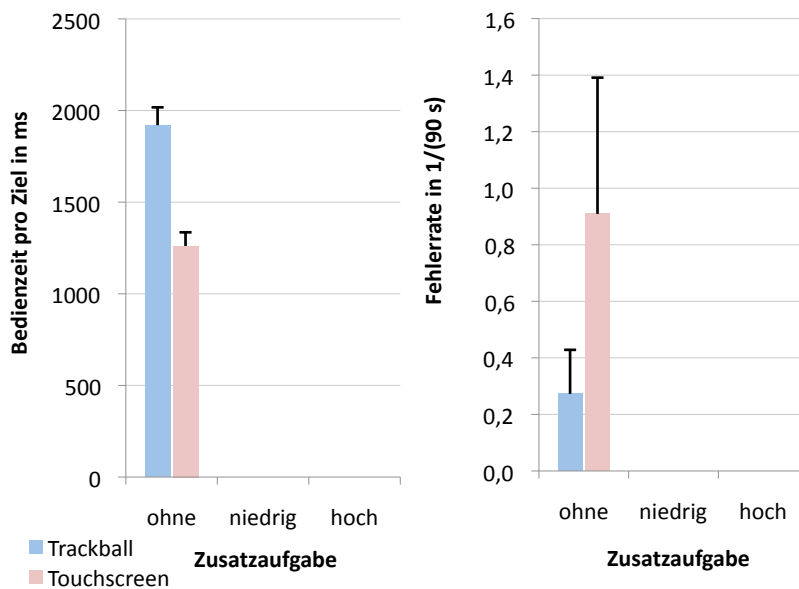


Abb. 5-1: Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler der Leistungsmaße Bedienzeit und Fehlerrate in der Zeigeaufgabe ST (vgl. Tab. 5-2) für die Bedienelemente Trackball und Touchscreen ohne die gleichzeitige Bearbeitung einer Zusatzaufgabe.

In den Versuchsdurchgängen ohne gleichzeitige Zusatzbelastung konnten hochsignifikante Unterschiede der Bedienzeiten für Touchscreen und Trackball in der Zeigeaufgabe nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-2). Der quantitative Unterschied der durchschnittlichen Eingabezeit bei Trackball und Touchscreen beträgt 658,94 ms. Für die abhängigen Variablen Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate der Zeigeaufgabe konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Bedienung mit Trackball und Touchscreen nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-2). Es wurden bei der Anwahl von insgesamt je 165 Zielen mit dem Trackball drei und mit dem Touchscreen zehn Fehleingaben gemacht. Dabei wurde unabhängig vom Bedienelement keines der Ziele ausgelassen. Die Mittelwer-

te der abhängigen Variablen sind in Abb. 5-1 zusammen mit der Angabe des Standardfehlers dargestellt.

Tab. 5-2: Zusammenfassung der Mittelwerte (MV) und Standardfehler (SE) der abhängigen Variablen sowie der Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball im Versuch ST ohne Zusatzbelastung. Die Aufgabe wurde vollständig und ohne Auslassungsfehler bearbeitet, es entfällt daher die Signifikanzanalyse für die abhängige Variable Auslassungsfehlerrate.

Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
	MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
Bedienzeit (ms)	1261,00	67,43	1919,94	88,26	7.76	< .001	3.31
Fehlerrate (1/90 s)	0,91	0,44	0,27	0,16	-1.30	.112	0.55
Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-

5.2.1.2. Bedienleistung mit Sternberg Aufgabe

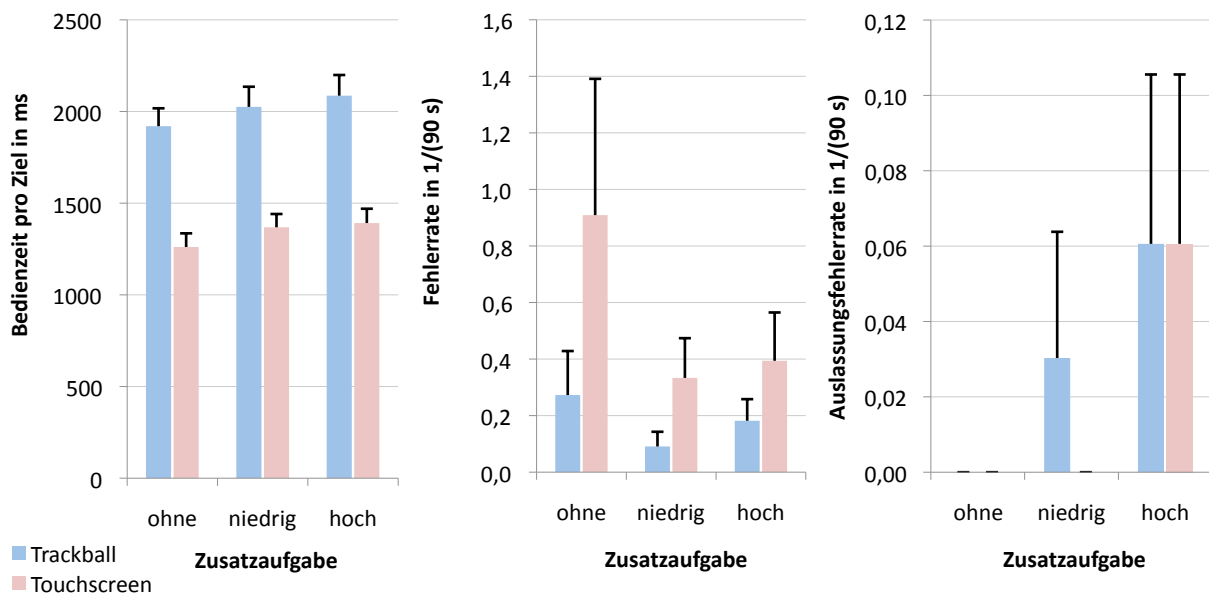


Abb. 5-2 Vergleich der Bedienleistung der Bedienelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe ST bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

In den Versuchsdurchgängen mit gleichzeitiger Bearbeitung der *Sternberg Aufgabe* konnten sowohl bei niedriger als auch bei hoher Schwierigkeit der Zusatzaufgabe hochsignifikante Unterschiede der Bedienzeiten für Touchscreen und Trackball nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-3). Der quantitative Unterschied in der durchschnittlichen Bedienzeit von Trackball und Touchscreen beträgt 656,85 ms bei niedriger und 694,74 ms bei hoher Schwierigkeit der *Sternberg Aufgabe* (vgl. Abb. 5-2). Die Anzahl der Fehleingaben pro Versuchsdurchgang ist für die Trackballbedie-

nung bei niedriger und hoher Schwierigkeit der Zusatzaufgabe quantitativ geringer als für die Bedienung mit dem Touchscreen. In beiden Fällen ist der Unterschied jedoch nicht signifikant. Unabhängig von der Wahl des Bedienelements wurden wenige Auslassungsfehler in der Zeigeaufgabe gemacht. Es konnte in beiden Schwierigkeitsstufen kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Auslassungsfehler zwischen Trackball und Touchscreen nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-3).

Tab. 5-3: Leistung in der Zeigeaufgabe ST und Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Sternberg Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1368,53	65,57	2025,38	99,30	11.20	< .001	4.77
	Fehlerrate (1/90 s)	0,33	0,13	0,09	0,05	1.90	.043	0.81
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,03	0,03	1.00	.170	0.43
hoch	Bedienzeit (ms)	1391,55	70,67	2086,29	102,08	11.73	< .001	5.00
	Fehlerrate (1/90 s)	0,39	0,15	0,18	0,07	1.47	.086	0.63
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,06	0,04	0,06	0,04	0.00	.500	0.00

5.2.1.3. Bedienleistung mit Motorischer Aufgabe

In der Kombination der Zeigeaufgabe ST und der Zusatzaufgabe *Motorische Aufgabe* wurden für die leichte und die schwierige Zusatzaufgabe hochsignifikante Unterschiede in den Bedienzeiten mit Touchscreen und Trackball nachgewiesen (vgl. Tab. 5-4). Die Differenz der Bedienzeit beträgt in der niedrigen Schwierigkeitsstufe der Zusatzaufgabe 1187,34 ms und 1415,77 ms in der hohen (vgl. Abb. 5-3). Es kann kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Fehleingaben pro Versuchsdurchgang abhängig von dem verwendeten Bedienelement festgestellt werden (vgl. Tab. 5-4). Vergleicht man die Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe bei Trackball- und Touchscreenbedienung, ergibt sich für die beiden Schwierigkeitsstufen der *Motorischen Aufgabe* ein signifikanter Unterschied zugunsten des Touchscreens.

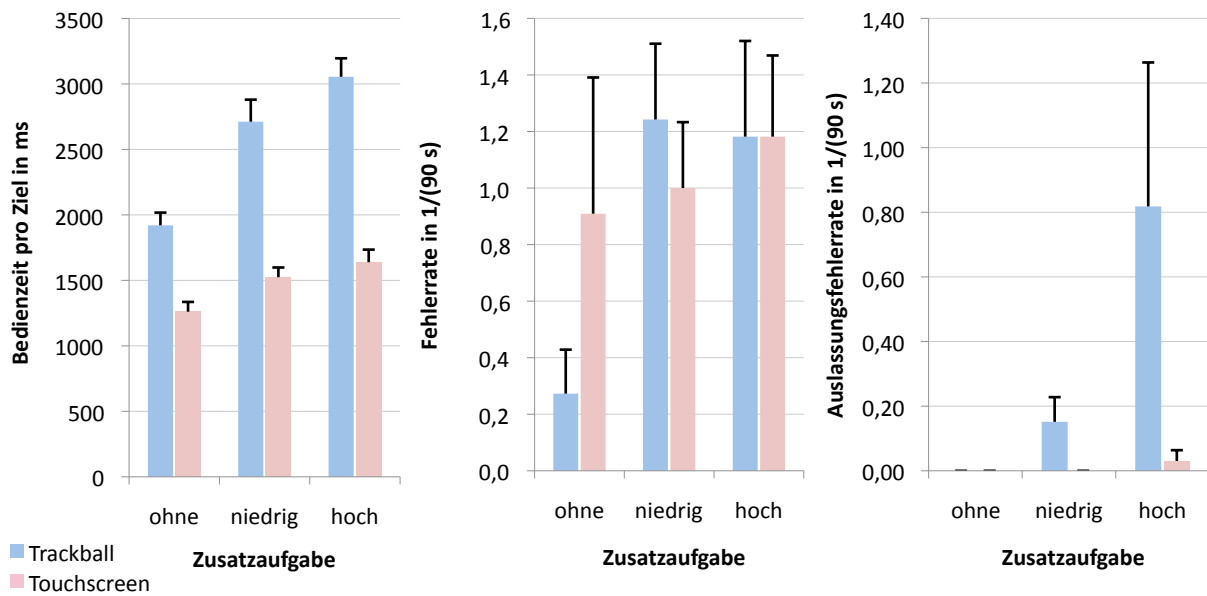


Abb. 5-3: Vergleich der Bedienleistung der Eingabeelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe ST bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Tab. 5-4: Leistung in der Zeigeaufgabe ST und Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung bei Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Motorischen Aufgabe in der Schwierigkeitsstufe niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1524,14	67,08	2711,48	152,49	9.81	< .001	4.19
	Fehlerrate (1/90 s)	1,00	0,21	1,24	0,24	1.30	.111	0.56
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,15	0,07	2.19	.027	0.93
hoch	Bedienzeit (ms)	1638,76	87,01	3054,52	127,86	14.90	< .001	6.35
	Fehlerrate (1/90 s)	1,18	0,26	1,18	0,31	0.00	.500	0.00
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,03	0,03	0,82	0,40	1.94	.040	0.83

5.2.1.4. Bedienleistung mit Visueller Suchaufgabe

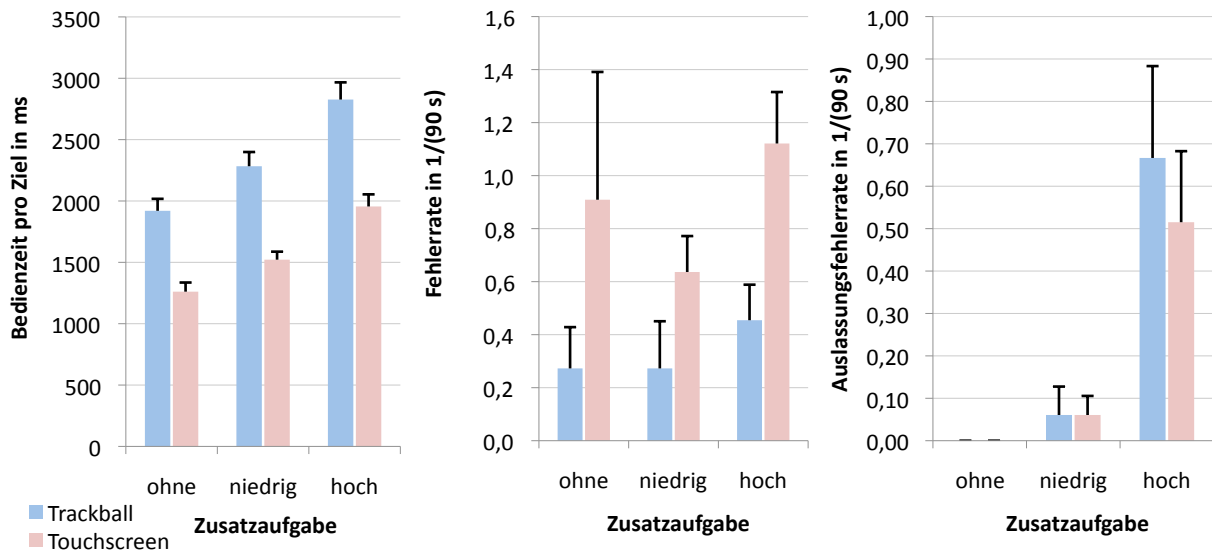


Abb. 5-4: Vergleich der Bedienleistung der Bedienelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe ST bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

In den Versuchsdurchgängen mit gleichzeitiger Zusatzbelastung durch die Visuelle Suchaufgabe konnten hochsignifikante Unterschiede der Bedienzeiten von Touchscreen und Trackball nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-5). Der quantitative Unterschied der durchschnittlichen Bedienzeit von Trackball und Touchscreen beträgt bei leichter Zusatzaufgabe 761,41 ms und bei schwerer 871,31 ms (vgl. Abb. 5-4). Vergleicht man die Fehleingaben pro Versuchsdurchgang für Trackball und Touchscreen, werden in beiden Schwierigkeitsstufen der Zusatzaufgabe weniger Fehler mit dem Trackball als mit dem Touchscreen gemacht (vgl. Tab. 5-5). Ein signifikanter Unterschied konnte hierbei für den Belastungskontext durch die schwierige Zusatzaufgabe festgestellt werden. Für die leichte Zusatzaufgabe ergibt sich nur eine Tendenz zugunsten der Trackballbedienung. Ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Auslassungsfehler konnte abhängig vom Bedienelement nicht festgestellt werden.

Tab. 5-5: Leistung in der Zeigeaufgabe ST und Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Visuellen Suchaufgabe der Schwierigkeitsstufe niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1521,76	59,06	2283,17	104,91	8.37	< .001	3.57
	Fehlerrate (1/90 s)	0,64	0,12	0,27	0,16	-2.13	.030	0.91
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,06	0,04	0,06	0,06	0.00	.500	0.00

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
hoch	Bedienzeit (ms)	1955,32	89,27	2826,63	126,66	7.49	< .001	3.19
	Fehlerrate (1/90 s)	1,12	0,18	0,45	0,12	-3.16	.005	1.35
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,52	0,15	0,67	0,20	1.05	.160	0.45

5.2.1.5. Bedienleistung mit Komplexer Aufgabe

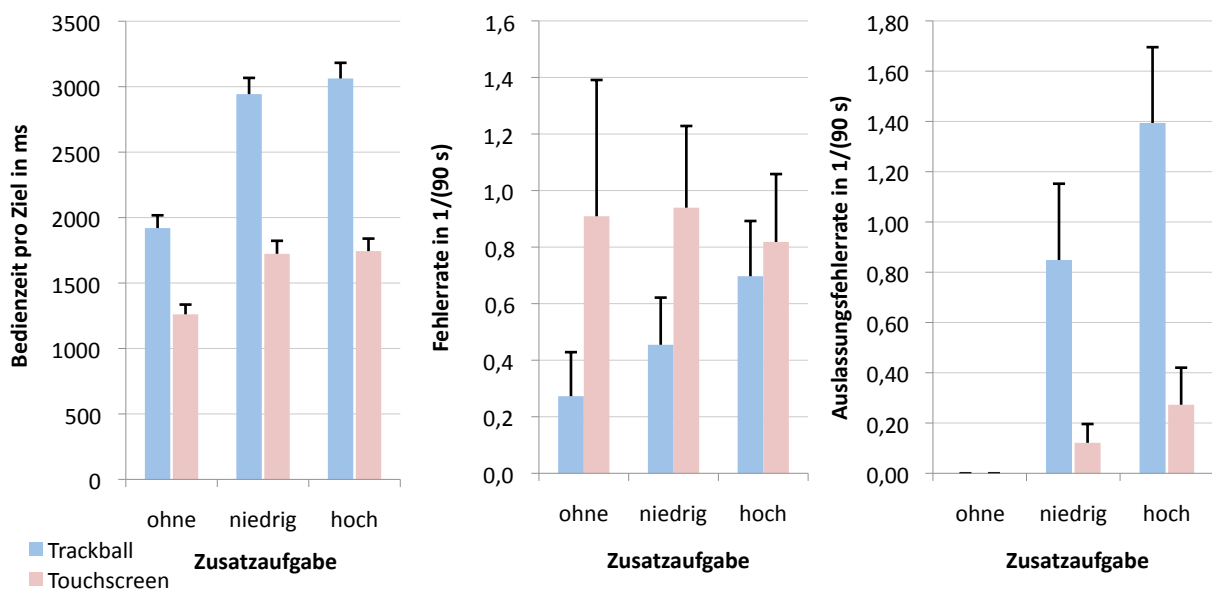


Abb. 5-5: Vergleich der Bedienleistung der Bedienelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe ST bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Die Kombination der Zeigeaufgabe ST mit der *Komplexen Zusatzaufgabe* zeigt einen hochsignifikanten Leistungsvorteil in der Bedienzeit bei Touchscreenbedienung (vgl. Tab. 5-6). Die Bedienzeit mit dem Touchscreen ist in Kombination mit der leichten komplexen Zusatzaufgabe durchschnittlich um 1216.96 ms kürzer (vgl. Abb. 5-5). Mit der schwierigen Zusatzaufgabe beträgt der Unterschied im Durchschnitt 1318.58 ms. Der Unterschied in der Fehlerrate der beiden Bedienelemente ist für beide Schwierigkeitsstufen der Zusatzaufgabe nicht signifikant. Der Unterschied der Anzahl der nicht ausgewählten Ziele zeigt dagegen für die Belastung durch die leichte Zusatzaufgabe einen deutlich signifikanten Unterschied zwischen den beiden Eingabegeräten zugunsten des Touchscreens. Der Unterschied ist in Kombination mit der schwierigen komplexen Zusatzaufgabe hochsignifikant (vgl. Tab. 5-6).

Tab. 5-6: Leistung in der Zeigeaufgabe ST und Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung der Eingabelemente in Kombination mit der Komplexen Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1723,31	89,88	2943,27	112,07	9.18	< .001	3.92
	Fehlerrate (1/90 s)	0,94	0,26	0,45	0,17	-1.62	.068	0.69
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,12	0,07	0,85	0,27	2.87	.008	1.22
hoch	Bedienzeit (ms)	1744,06	86,37	3062,64	108,25	11.88	< .001	5.06
	Fehlerrate (1/90 s)	0,82	0,22	0,70	0,18	-0,56	.294	0.24
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,27	0,13	1,39	0,27	4.78	<.001	2.04

5.2.2. Leistung in den Zusatzaufgaben

Die erbrachte Leistung in den Zusatzaufgaben wurde anhand der Usability-Parameter Effizienz und Effektivität erfasst. Im Versuchsteil ST wurde die Leistung in den Zusatzaufgaben mit und ohne gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe erhoben.

Die Darstellung der Leistungsdaten in der Zusatzaufgabe erfolgt für jede Kombination der Zeigeaufgabe mit den vier Zusatzaufgaben in einem Diagramm, das die Entwicklung der Leistung in der Zusatzaufgabe anhand der Mittelwerte (MV) und Standardfehler (SE) der abhängigen Variablen aufzeigt. Zusätzlich zu den Leistungsdaten der Zusatzaufgabe mit gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe werden als Referenzangabe die Leistungsdaten der Zusatzaufgabe ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe angetragen. Dadurch soll der Einfluss der Wahl des Bedienelements in der Zeigeaufgabe auf die Leistung in der Zusatzaufgabe verdeutlicht werden (vgl. Abb. 5-6). Die Leistungsdaten in der Zeigeaufgabe werden zusammen mit den Ergebnissen der Signifikanzanalyse zur besseren Übersichtlichkeit und Vergleichsmöglichkeit in jeweils einer Tab. dargestellt (vgl. Tab. 5-8). Da Effizienz und Effektivität in den Zusatzaufgaben durch unterschiedliche Variable operationalisiert werden, sind diese aus Übersichtsgründen jeder der folgenden Leistungsbetrachtungen in einer Tabelle vorangestellt (vgl. Tab. 5-7).

5.2.2.1. Sternberg Aufgabe

Tab. 5-7: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Eingabezeit und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Sternberg Aufgabe	Eingabezeit (ms)	Zeit zwischen dem Hören der Kontroll-Zahl und der verbalen Antwort
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falscher Urteile der Zugehörigkeit der Kontroll-Zahl pro Versuchsdurchgang

Die Eingabezeit in der Zusatzaufgabe ohne gleichzeitige Bearbeitung der Zeigeaufgabe ist in der leichten Ausprägung der Zusatzaufgabe im Durchschnitt deutlich kürzer (MV = 1442,00 ms, SE = 50,00 ms) als in der schwierigen (MV = 1719,05 ms, SE = 133,26 ms). Die durchschnittliche Anzahl der Fehler beträgt in der leichten Aufgabe 0,0 (SE = 0,0) und 0,45 (SE = 0,25) in der schwierigen (vgl. Abb. 5-6). Vergleicht man die Eingabezeit in der *Sternberg Aufgabe* bei gleichzeitiger Bedienung der Zeigeaufgabe mit dem Trackball bzw. dem Touchscreen, so ist ein signifikanter Unterschied in der Eingabezeit der leichten *Sternberg Aufgabe* zugunsten des Trackballs festzustellen. Wird die schwierige *Sternberg Aufgabe* bearbeitet, ist die Bedienzeit bei gleichzeitiger Touchscreenbedienung kürzer als mit dem Trackball. Dieser Unterschied ist nicht signifikant (vgl. Tab. 5-8). Ein signifikanter Unterschied in der Fehlerrate der leichten und schwierigen *Sternberg Aufgabe* bei gleichzeitiger Trackball- oder Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe konnte nicht festgestellt werden.

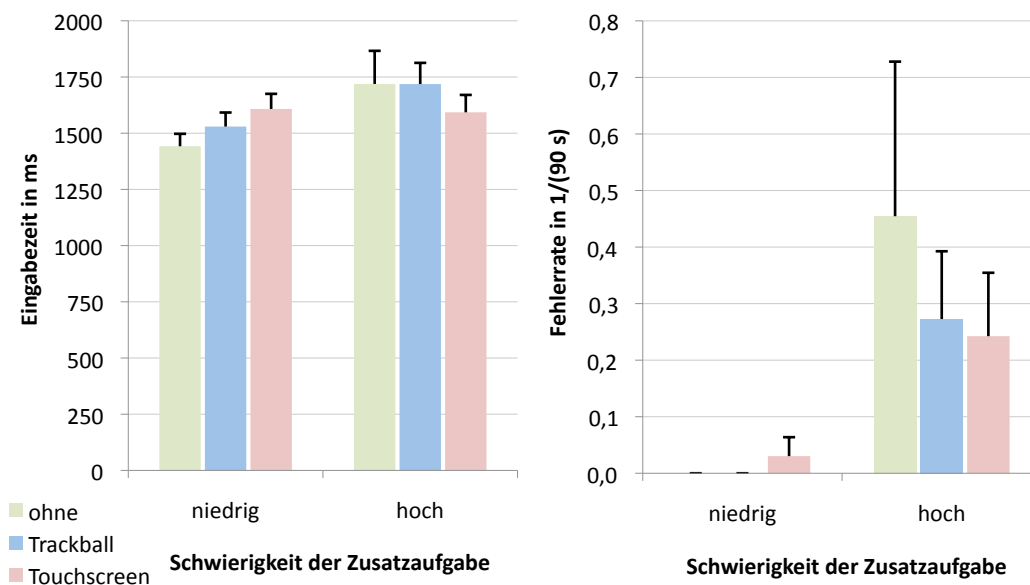


Abb. 5-6: Leistung in der Sternberg Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Eingabezeit und Fehlerrate in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-8: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Eingabezeit (ms)	1607,75	60,92	1529,62	56,46	-1.86	.046	0.79
	Fehlerrate (1/90 s)	0,03	0,03	0,00	0,00	1.00	.170	0.43
hoch	Eingabezeit (ms)	1592,92	70,02	1718,59	85,29	1.25	.119	0.54
	Fehlerrate (1/90 s)	0,24	0,10	0,27	0,11	0.23	.411	0.10

5.2.2.2. Motorische Aufgabe

Tab. 5-9: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Eingabegeschwindigkeit und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Motorische Aufgabe	Eingaberate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge für die Zeit (90 s) eines Versuchsdurchgangs.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge in der falschen Reihenfolge.

Bei der Bearbeitung der Zusatzaufgabe ohne Zeigeaufgabe wurden in der leichten Zusatzaufgabe 101,7 (SE = 6,69) und in der schwierigen 41,7 (SE = 4,48) Steckvorgänge pro Versuchsdurchgang erreicht. Die Fehlerrate liegt in der leichten Zusatzaufgabe bei 1,18 (SE = 0,60) und in der schwierigen bei 1,36 (SE = 0,36) Fehlern in der Reihenfolge der Steckvorgänge pro Versuchsdurchgang (vgl. Abb. 5-7). In der leichten und in der schweren *Motorischen Aufgabe* wirkt sich die Wahl des Bedienelements in der Zeigeaufgabe signifikant auf die Eingaberate aus. Wird die Zeigeaufgabe mit dem Touchscreen bedient, werden in der leichten und der schwierigen *Motorischen Aufgabe* deutlich mehr Eingaben pro Versuchsdurchgang getätigt als bei der Verwendung des Trackballs. Der Einfluss des Bedienelements wirkt sich in der Fehlerrate der leichten und schweren *Motorischen Aufgabe* signifikant aus. Es ist daher bei einer Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe eine signifikant niedrigere Fehlerzahl in der leichten wie auch in der schweren Zusatzaufgabe zu erwarten als bei der Trackballbedienung.

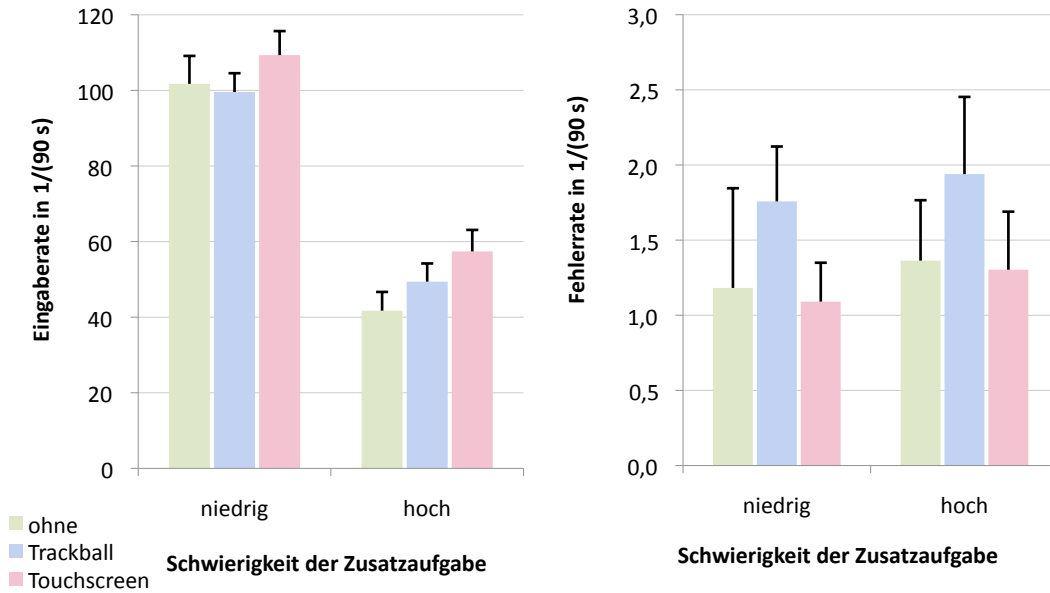


Abb. 5-7: Vergleich der Leistung in der Motorischen Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Eingaberate und Fehlerrate in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-10: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Bedienleistung der Zusatzaufgabe wird in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Eingaberate (1/90 s)	109,33	5,75	99,58	4,50	2.63	.013	1.12
	Fehlerrate (1/90 s)	1,09	0,23	1,76	0,33	3.70	.002	1.53
hoch	Eingaberate (1/90 s)	57,39	5,15	49,39	4,36	2.41	.018	1.03
	Fehlerrate (1/90 s)	1,30	0,39	1,94	0,46	2.28	.023	0.97

5.2.2.3. Visuelle Suchaufgabe

Tab. 5-11: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe wird durch die abhängigen Variablen Auswahlzeit und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Visuelle Suchaufgabe	Auswahlrate (1/90 s)	Anzahl der richtigen Seitenwahlen pro Versuchsdurchgang.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falsch ausgewählter Seiten pro Versuchsdurchgang.

Ohne zusätzliche Bearbeitung der Zeigeaufgabe wurden pro Versuchsdurchlauf 27,64 (SE = 0,74) richtige Seitenwahlen in der leichten bzw. 13,73 (SE = 0,85) in der schweren Zusatzaufgabe *Visuelle Suchaufgabe* erreicht. Die Anzahl der Fehleingaben pro Versuchsdurchlauf in der niedrigen Schwierigkeitsstufe der Zusatzaufgabe war 0,00 (SE = 0,00) und 0,64 (SE = 0,24) in der hohen (vgl. Abb. 5-8).

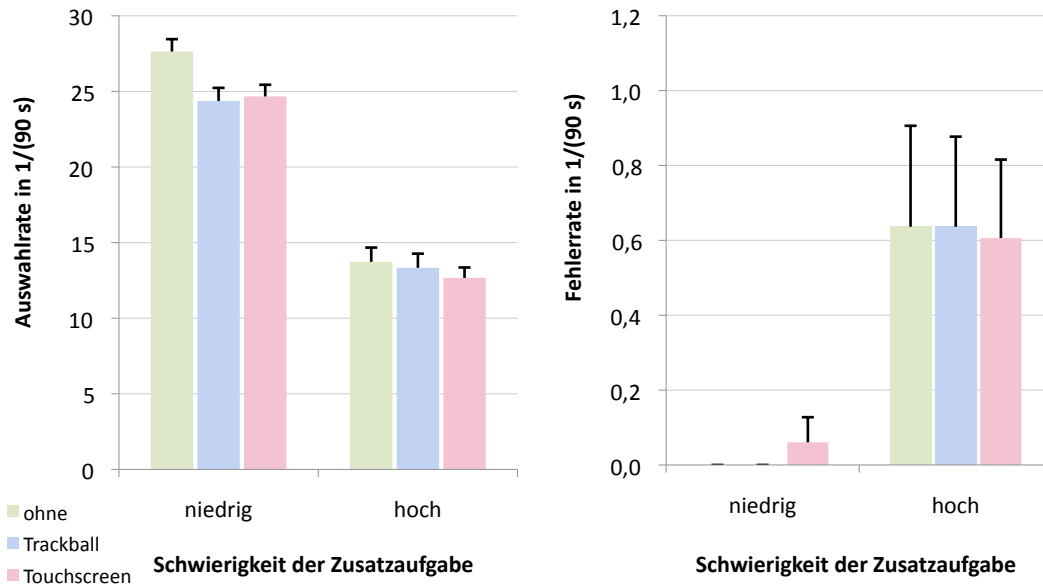


Abb. 5-8: Vergleich der Leistung in der Visuellen Suchaufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe, abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Auswahlrate und Fehlerrate in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-12: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in der Schwierigkeitsstufe niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Auswahlrate (1/90 s)	24,67	0,70	24,36	0,79	0,85	.209	0,36
	Fehlerrate (1/90 s)	0,06	0,06	0,00	0,00	1,00	.170	0,43
hoch	Auswahlrate (1/90 s)	12,67	0,62	13,33	0,85	1,28	.115	0,54
	Fehlerrate (1/90 s)	0,61	0,19	0,64	0,22	0,23	.411	0,10

Die Wahl des Bedienelements in der Zeigeaufgabe wirkt sich bei gleichzeitiger Bearbeitung von Zeige- und Zusatzaufgabe nicht signifikant auf die Auswahlrate in der Zusatzaufgabe aus. Dies gilt sowohl für die niedrige als auch für die hohe Schwierigkeitsstufe der Zusatzaufgabe. Gleichzeitig kann für die Fehlerrate in der leichten und schwierigen Zusatzaufgabe kein signifikanter Unter-

schied in Abhängigkeit des Eingabegeräts in der Zeigeaufgabe nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-12).

5.2.2.4. Komplexe Aufgabe

Tab. 5-13: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Abweichung und Erfüllungsgrad operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Tracking	Abweichung (mm)	Durchschnittliche Abweichung (RMSE) des bewegten Kreuzes von der Soll-Position.
Readback	Erfüllungsgrad (-)	Anzahl richtiger Antworten hinsichtlich der vorgelesenen Zahlen und deren Reihenfolge in der verbalen Antwort.

Wird die *Komplexe Aufgabe* ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe bearbeitet, beträgt die Abweichung in der leichten und schweren *Tracking-Aufgabe* 24,60 mm (SE = 2,00 mm) und 29,18 mm (SE = 3,92 mm). Der Erfüllungsgrad in der leichten *Readback-Aufgabe* ist im Durchschnitt 0,993 (SE = 0,004) und in der schweren 0,851 (SE = 0,028).

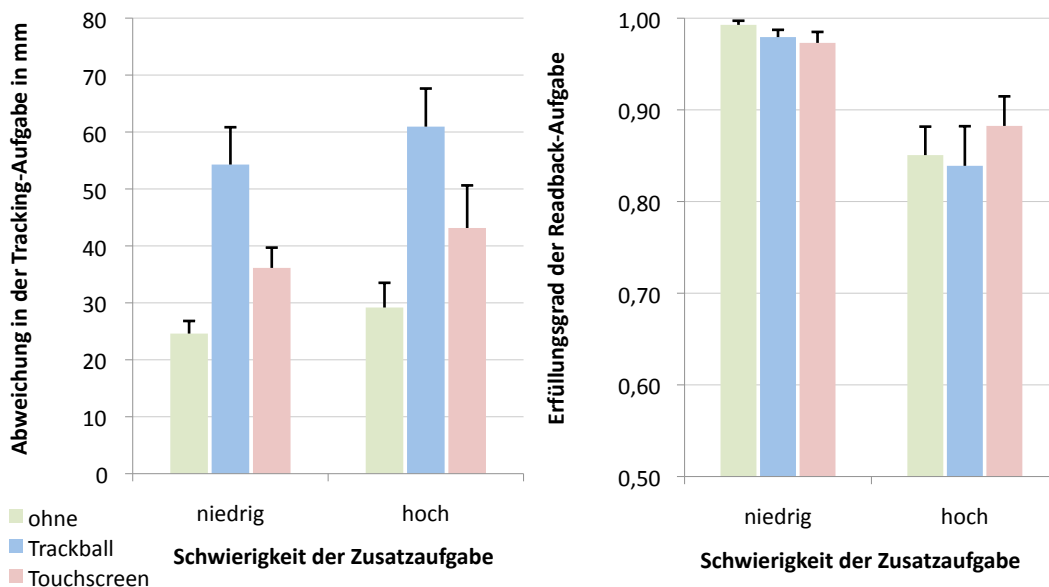


Abb. 5-9: Vergleich der Leistung in der Komplexen Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Abweichung und Erfüllungsgrad in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Der Einfluss des Bedienelements ist in der *Tracking-Aufgabe* deutlich bemerkbar (vgl. Abb. 5-9). Die mittlere Abweichung von Soll- und Ist-Zustand der Kompensationsaufgabe ist bei gleichzeitigen Touchscreeneingaben auf dem Großflächendisplay signifikant niedriger als bei Trackballeingaben. Dies gilt für den niedrigen wie für den hohen Belastungskontext. Für den Erfüllungsgrad der *Readback-Aufgabe* wurde in der niedrigen Schwierigkeitsstufe kein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit vom Bediengerät in der Zeigeaufgabe festgestellt. Für die schwierige *Readback-*

Aufgabe lässt sich ein signifikanter Einfluss des Touchscreens auf den Erfüllungsgrad der *Read-back-Aufgabe* feststellen (vgl. Tab. 5-14).

Tab. 5-14: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in der Schwierigkeitsstufe niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Abweichung (mm)	36,14	3,22	54,29	5,93	3.88	.002	1.65
	Erfüllungsgrad (-)	0,973	0,011	0,979	0,007	0.44	.335	0.19
hoch	Abweichung (mm)	43,15	6,77	60,95	6,05	5.02	< .001	2.14
	Erfüllungsgrad (-)	0,882	0,029	0,839	0,039	1.82	.049	0.78

5.2.3. Diskussion

Im Versuchsteil ST wurde der Einfluss der beiden Bediengeräte Trackball und Touchscreen auf die Leistung in der Zeigeaufgabe und in den Zusatzaufgaben untersucht. Wie erwartet zeichnet sich ein klarer Vorteil der Bedienung der Zeigeaufgabe mit dem Touchscreen gegenüber dem Trackball ab. Gleichzeitig können Auswirkungen auf die Bedienleistung einiger Zusatzaufgaben in Abhängigkeit des Bedienelements in der Zeigeaufgabe festgestellt werden (vgl. Tab. 5-15, Tab. 5-16). Die Ergebnisse der T-Test Analyse sind qualitativ für Zeige- in Tab. 5-15 und für Zusatzaufgaben in Tab. 5-16 zusammengefasst. Treten in Abhängigkeit des Bedienelements signifikante Leistungsdifferenzen in den unterschiedlichen Aufgabenkombinationen auf, werden sie mit einem „TS“ bei Vorteilen des Touchscreens und mit einem „TB“ bei Vorteilen durch den Trackball gekennzeichnet.

Tab. 5-15: Zusammenfassung der Ergebnisse der T-Test Analyse der Leistung bei Trackball- und Touchscreenbedienung in den **Zeigeaufgaben**.

Zusatzaufgabe	Keine		Sternberg		Motorisch		Visuell		Komplex	
(Schwierigkeitsstufe: niedrig: -, hoch: +)	/	-	+	-	+	-	+	-	+	
Bedienzeit (ms)	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
Fehlerrate (1/90 s)							TB			
Auslassungsfehlerrate (1/90s)				TS	TS				TS	TS

Tab. 5-16: Zusammenfassung der Ergebnisse der T-Test-Analyse der Leistung in den **Zusatzaufgaben**. Signifikante Ergebnisse sind entsprechend dem Bedienelement mit Leistungsvorteil mit „TS“ und „TB“ gekennzeichnet.

Zusatzaufgabe (Schwierigkeitsstufe: niedrig: -, hoch: +)	Sternberg		Motorisch		Visuell		Komplex	
	-	+	-	+	-	+	-	+
Eingabezeit (ms)								
Fehlerrate (1/90 s)								
Eingaberate (1/90 s)			TS	TS				
Fehlerrate (1/90 s)			TS	TS				
Auswahlrate (1/90 s)								
Fehlerrate (1/90 s)								
Abweichung (mm)							TS	TS
Erfüllungsgrad (-)								TS

Die Unterschiede in den **Bedienzeiten** zwischen Touchscreen und Trackball sind für alle Kombinationen mit Zusatzaufgaben wie auch ohne gleichzeitige Zusatzaufgabe hochsignifikant, wobei der quantitative Unterschied der Bedienzeiten in Abhängigkeit von der Zusatzaufgabe variiert.

Bei gleichzeitiger Bearbeitung von Zeigeaufgabe und der Zusatzaufgaben *Motorische* und *Komplexe Aufgabe* wurden in der Zeigeaufgabe ST vergleichsweise hohe Bedienzeiten und Bedienzeitdifferenzen zwischen Touchscreen und Trackball gemessen (vgl. Kap. 5.2.1.3 & 5.2.1.5). Dies lässt auf Interferenzeffekte, also der gleichzeitigen Belegung der motorischen Ressource, in der Zeige- und der Zusatzaufgabe schließen, die bei der Trackballbedienung deutlich stärker ausgeprägt sind als beim Touchscreen (vgl. Kap. 2.4.2). Betrachtet man hierzu die Leistungsunterschiede in den beiden kombinierten Teilaufgaben der komplexen Aufgabe *Tracking* und *Readback*, wird die *Tracking-Aufgabe* offensichtlich bei Touchscreenbedienung besser bearbeitet als bei Trackballbedienung (vgl. Tab. 5-14). Die Interferenzeffekte zwischen der Verwendung des Trackballs und der Bearbeitung der Zusatzaufgabe führen also ebenfalls in der Zusatzaufgabe zu erkennbaren Leistungseinbußen, verglichen mit der Verwendung des Touchscreens (Wickens et al., 2004). Betrachtet man die Leistung in der schwierigen *Readback-Aufgabe*, zeigen sich auch hier Leistungsvorteile durch die Touchscreenbedienung. Diese Effekte deuten jedoch weniger auf motorische als vielmehr auf auditive und kognitive Interferenzen hin, die aus der Belastung der zentralen Exekutive bzw. der begrenzten kognitiven Ressource resultieren (Baddeley, 2003). Vergleicht man die Leistungsentwicklung im leichten und schweren *Tracking* und *Readback*, so ist eine starke Zunahme des Leistungsvorteils des Touchscreens zu erkennen. Es sind folglich neben den motorischen ebenfalls kognitive Interferenzen zwischen der Zusatzaufgabe und der Zeigeaufgabe in Abhängigkeit des Bedienelements bei steigender Schwierigkeit der *Readback-Aufgabe* zu erwarten. Die Touchscreenbedienung benötigt anscheinend geringere Anteile des Ressourcenpools und

führt demnach zu einem Leistungsvorteil in Zeige- und Zusatzaufgabe (Rasmussen et al., 1994; Baddeley, 2003).

In der *Motorischen Aufgabe* ist die Leistung für beide Schwierigkeitsstufen der Zusatzaufgabe bei Touchscreenbedienung signifikant höher (vgl. 5.2.2.2). Dies deutet wiederum auf starke Interferenzen der motorischen Ressource in der Zeige- und der Zusatzaufgabe bei Trackballbedienung hin.

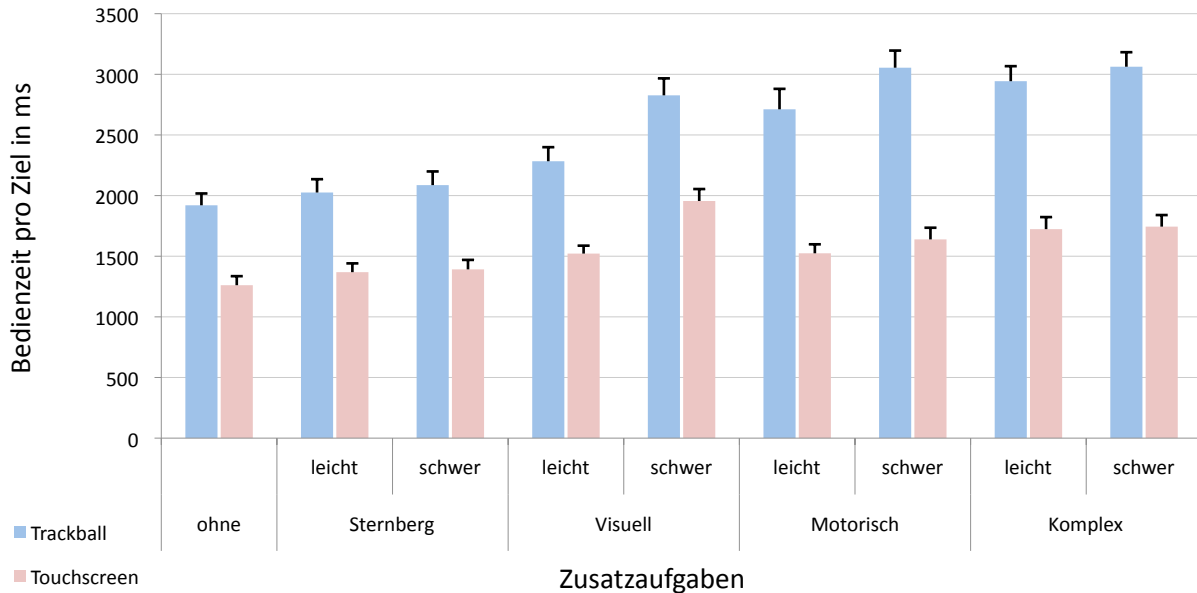


Abb. 5-10: Darstellung der mittleren Bedienzeit mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Die Bedienzeiten bei simultaner Bearbeitung der *Sternberg Aufgabe* steigen verglichen mit den Bedienzeiten ohne Zusatzaufgabe für beide Eingabeelemente kaum an (vgl. Kap. 5.2.1.2). Ein eindeutiger Einfluss der kognitiven Belastung der Versuchspersonen durch die Zusatzaufgabe ist in der Bedienzeit der Zeigeaufgabe nicht festzustellen. Die Leistung in der Zusatzaufgabe zeigt in gleicher Weise keine Abhängigkeit vom verwendeten Bediengerät (Tab. 5-8). Betrachtet man an dieser Stelle die Leistung in der kognitiven Komponente der komplexen Zusatzaufgabe, der *Read-back Aufgabe*, kann dagegen in der hohen Schwierigkeitsstufe ein deutlicher Unterschied in der Leistung der Zusatzaufgabe zwischen Touchscreen und Trackball festgestellt werden (vgl. Tab. 5-14). Es ist daher zu vermuten, dass die kognitive Belastung der Piloten durch die leichte und schwere *Sternberg Aufgabe* zu gering war, um Auswirkungen auf die Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe feststellen zu können. Für die durch die *Sternberg Aufgabe* erzeugte kognitive Belastung sind daher keine Leistungseinbußen in Zeige- und Zusatzaufgabe durch die Zusatzaufgabe zu erwarten. Es ist daher ein Einfluss des Bedienelements der Zeigeaufgabe auf die Leistung in der Zusatzaufgabe bei erhöhter kognitiver Belastung zu vermuten. Dies ist im Rahmen dieser Untersuchung für die Zeigeaufgabe ST und die Zusatzaufgabe *Sternberg Aufgabe* jedoch nicht nachzuweisen.

Für die *Visuelle Suchaufgabe* kann eine vergleichsweise starke Zunahme der Bedienzeit mit steigender Schwierigkeit der Zusatzaufgabe festgestellt werden (vgl. Kap. 5.2.1.4). Ein Einfluss des Bedienelements auf die Leistung in der *Visuellen Suchaufgabe* ist nicht festzustellen. Die geringe

Fehlerzahl in der Zeigeaufgabe bei der leichten Zusatzaufgabe und die vergleichsweise hohe Fehleranzahl bei der schwierigen Zusatzaufgabe können nicht eindeutig dem Bediengerät Touchscreen oder Trackball zugeordnet werden. Es ist daher möglich, dass die Schwierigkeit der leichten *Visuellen Suchaufgabe* aufgrund der niedrigen Fehlerzahlen und geringen Leistungsunterschiede zu gering war. Gleiches gilt in ähnlicher Weise für die schwierige *Visuelle Suchaufgabe*. Die Leistungsunterschiede in Zeige- und Zusatzaufgabe zwischen Touchscreen- und Trackballbedienung sind gering und unterscheiden sich kaum von der Leistung der Versuchsdurchgänge, in denen Zeige- und Zusatzaufgabe exklusiv bearbeitet wurden. Der Unterschied der Leistung zwischen niedriger und hoher Schwierigkeitsstufe ist dagegen vergleichsweise hoch, was darauf schließen lässt, dass die Schwierigkeit in der leichten Zusatzaufgabe zu niedrig und in der schwierigen zu hoch gewählt war (vgl. Tab. 5-12). Ein Einfluss des Bediengeräts auf die Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe bei gleichzeitiger visueller Belastung durch die Zusatzaufgabe konnte im Versuchsteil ST nicht bestätigt werden. Es treten daher an dieser Stelle keine Interaktionseffekte durch die Wahl des Bediengeräts in der visuellen Ressource in Zeige- und Zusatzaufgabe auf.

Für alle Zusatzaufgaben gilt, dass eine Steigerung der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe zu einer Erhöhung der Bedienzeit bei Touchscreen- und Trackballeingaben sowie zu einer Erhöhung der Differenz in den Bedienzeiten von Touchscreen und Trackball führt (vgl. Abb. 5-10).

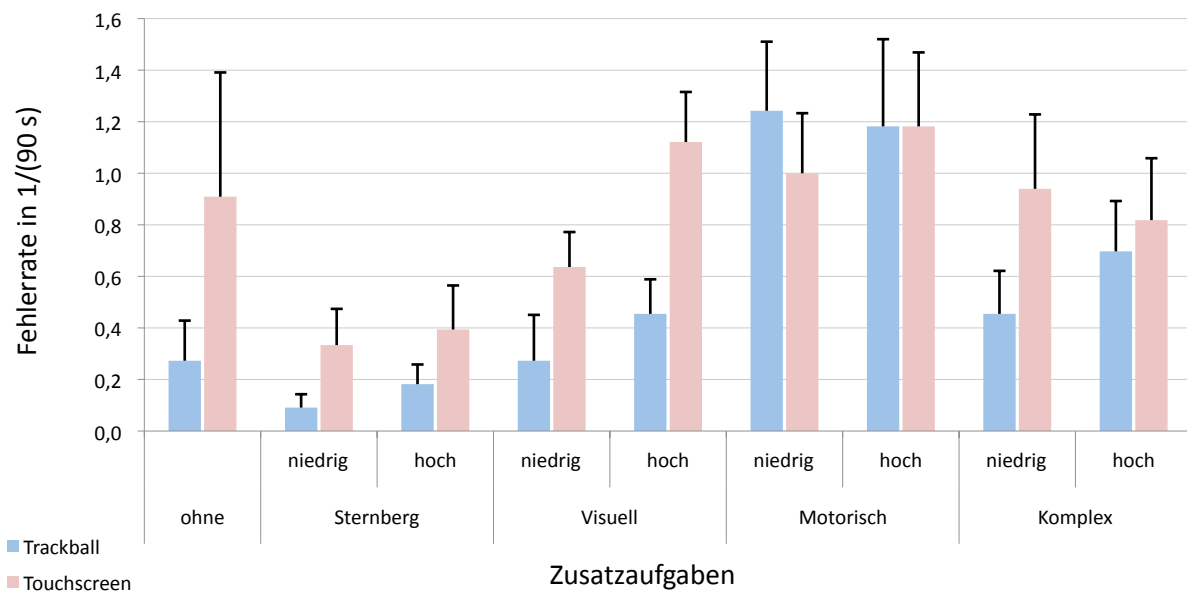


Abb. 5-11: Darstellung der Fehlerrate mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Grundsätzlich ist bei der Trackballbedienung aufgrund des „Speed-Accuracy-Trade-Offs“ (Schmidt et al., 2001) mit längeren Bedienzeiten und geringeren **Fehlerraten** als bei Touchscreenbedienung zu rechnen (Boff & Lincoln, 1983). Durch die Anpassung der Größe der Aktivierungsflächen ist eine Reduzierung der Fehlerrate der beiden Bedienelemente zu erwarten. In Abb. 5-11 sind die Fehleingaben pro Versuchsdurchgang in der Zeigeaufgabe für die unterschiedlichen Zusatzaufgaben darstellt. In den meisten Fällen bis auf die leichte *Motorische Aufgabe* ist erwartungsgemäß eine quantitativ höhere Fehlerrate in der Zeigeaufgabe bei Touchscreenbedienung festzustellen. Der signifikante Unterschied in der Fehlerrate in der Kombination mit der schweren *Visuellen*

Suchaufgabe ist darauf zurückzuführen, dass die Zusatzaufgabe deutlich schwieriger war als die Zeigeaufgabe. Es wurde daher ein Großteil der Aufmerksamkeitsressourcen auf die Bearbeitung der Zusatzaufgabe gelenkt. Dies führte zu einer Abnahme der Konzentration auf die Zeigeaufgabe und dadurch bei Touchscreenbedienung zu einer erhöhten Anzahl an Flüchtigkeitsfehlern.

Die Zeigeaufgabe wurde dennoch deutlich schneller und mit weniger Auslassungsfehlern mit dem Touchscreen als mit dem Trackball bedient. Die geringere Genauigkeit bei Touchscreenbedienung wirkt sich in dieser Aufgabenkombination daher nicht negativ auf die Bearbeitungsqualität der Zeigeaufgabe aus. Auch in der Zusatzaufgabe sind an dieser Stelle keine Leistungsunterschiede feststellbar. Die Größe der Aktivierungsfläche war folglich für die Zeigeaufgabe ST ausreichend groß dimensioniert, so dass an dieser Stelle keine höheren Fehlerraten bei Touchscreen- als bei Trackballeingaben zu erwarten sind. Darüber hinaus sind einige der Touchscreenfehler auf Fehlhaltungen der Hand während den Eingaben zurückzuführen. Dabei wurde der Zeigefinger der linken Hand zwar richtig auf dem Bedienfeld positioniert, jedoch kurz vor dem Abheben des Fingers aus der Aktivierungsfläche herausbewegt. Dieser Fehler fand zumeist dadurch statt, dass der kleine Finger der linken Hand in das Lichttraster des IR-Touchscreens ragte und erst nach dem Zeigefinger wieder herausbewegt wurde. Die Eingabe fand dann an der letzten Position des kleinen Fingers statt. Solche Fehleingaben konnten bei den Trackballeingaben nicht festgestellt werden. Hier wurde der Cursor auf die Aktivierungsfläche bewegt und nach erfolgter optischer Rückmeldung der korrekten Position die Auswahl durch die Betätigung der entsprechenden Schaltfläche mit dem Daumen durchgeführt.

Der Großteil der Fehleingaben resultierte aus Flüchtigkeitsfehlern und ungenauen Eingaben, die aufgrund hoher Belastung und zeitlichem Druck gemacht wurden.

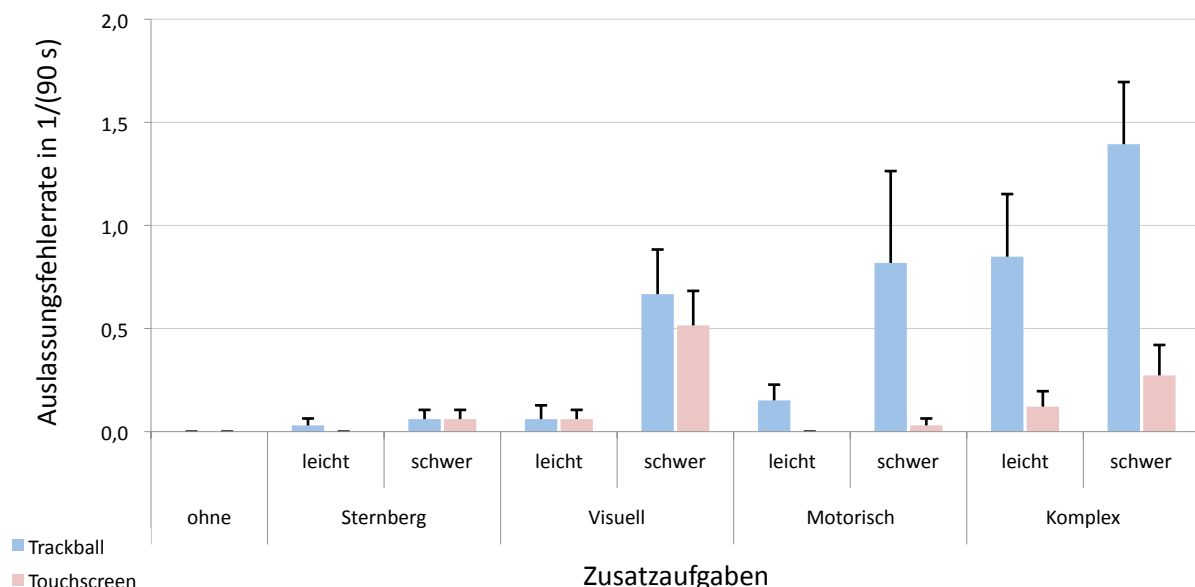


Abb. 5-12: Darstellung der mittleren Auslassungsfehlerrate mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Im Versuchsteil ST wurden insgesamt wenige **Auslassungsfehler** gemacht (vgl. Abb. 5-12). Die verfügbare Zeit für die Bearbeitung der Zeigeaufgabe bei gleichzeitiger Belastung durch die Zusatzaufgabe war in den meisten Versuchsdurchgängen ausreichend. Eine erhöhte Anzahl von Aus-

lassungsfehlern in der Zeigeaufgabe ist in Versuchsdurchgängen mit der schweren *Visuellen Suchaufgabe* und in beiden Schwierigkeitsstufen der Motorischen und Komplexen Aufgabe festzustellen. Für die schwere *Visuelle Suchaufgabe* ist die Anzahl der Auslassungsfehler für beide Bediengeräte gering und der Unterschied nicht signifikant. Der Unterschied des Auslassungsfehlers bei Trackball- und Touchscreen in der Motorischen und Komplexen Aufgabe ist dagegen signifikant. Die Wahl des Bediengeräts wirkt sich folglich bei gleichzeitiger Bearbeitung von Zusatzaufgaben mit motorischen Belastungskomponenten deutlich auf den Erfüllungsgrad der Zeigeaufgabe aus.

5.3. Versuch 2: Multiple & Moving Targets

Der Versuchsteil *Multiple & Moving Targets* betrachtet die Unterschiede der Usability der Bedienelemente Touchscreen und Trackball für die Anwahl mehrerer Ziele aus einer Grundgesamtheit von Zielen und Distraktoren auf Großflächendisplays unter Zusatzbelastung.

5.3.1. Leistung in der Zeigeaufgabe

Tab. 5-17: *Übersicht der abhängigen Variablen zur Bestimmung der Bedienleistung in der Zeigeaufgabe Multiple & Moving Targets mit entsprechender Beschreibung.*

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
MT	Bedienzeit (ms)	Zeitdauer für die Anwahl der Ziele. Diese wird pro Zielkonfiguration aus der Dauer zwischen Einblenden der Ziele (max. 10 sec) und der letzten richtigen Zielanwahl und der Anzahl (max. 3) der richtigen Eingaben ermittelt und als arithmetischer Mittelwert angegeben.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Eingaben ohne Zielauswahl. Für jeden Fehler wird Eingabe- und Zielposition dokumentiert.
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	Anzahl nicht ausgewählter Ziele pro Versuchsdurchgang.

Die Aufgabe der Versuchspersonen in der Zeigeaufgabe war die Anwahl einzelner, sequentiell und über die gesamte Displayfläche verteilter Zielsymbole mit und ohne gleichzeitiger Zusatzbelastung (vgl. Kap. 4.2.1.2 & 4.2.3). Es wird im Folgenden anhand von Signifikanztests die Eingabeleistung des Touchscreens und des Trackballs miteinander verglichen. Dies geschieht jeweils in Abhängigkeit der Art und Schwierigkeit der Zusatzaufgabe.

5.3.1.1. Bedienleistung ohne Zusatzaufgabe

Im Versuchsteil MT konnten hochsignifikante Unterschiede der Bedienzeiten für Touchscreen und Trackball ohne gleichzeitige Zusatzbelastung nachgewiesen werden. Der quantitative Unterschied der durchschnittlichen Bedienzeit von Touchscreen und Trackball beträgt 800,59 ms. Der Vergleich der durchschnittlichen Anzahl an Fehleingaben pro Versuchsdurchgang mit dem Trackball und mit dem Touchscreen ist nicht signifikant. Es wurden in dieser Versuchsbedingung keine Auslassungsfehler in der Zeigeaufgabe gemacht.

Der Unterschied der Bedienleistung für Touchscreen- und Trackballbedienung in der Zeigeaufgabe ist anhand der Mittelwerte der abhängigen Variablen in Abb. 5-13 zusammen mit der Angabe des Standardfehlers für die getesteten Belastungssituationen dargestellt. In Tab. 5-18 sind die Leistungsdaten sowie die Ergebnisse der T-Test-Analyse zusammengefasst.

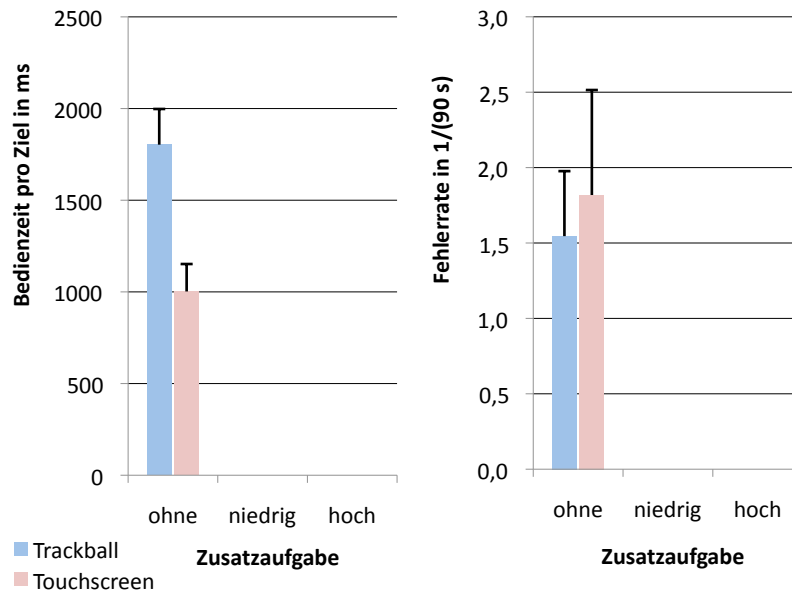


Abb. 5-13: Vergleich der Bedienleistung der Bedienelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit und Fehlerrate in der Zeigeaufgabe ST ohne die gleichzeitige Bearbeitung einer Zusatzaufgabe.

Tab. 5-18: Leistung in der Zeigeaufgabe ST und Ergebnisse des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball ohne Zusatzbelastung. Die Aufgabe wurde vollständig und ohne Auslassungsfehler bearbeitet, es entfällt daher die Signifikanzanalyse für die abhängige Variable Auslassungsfehlerrate.

Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
	MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
Bedienzeit (ms)	1002,36	135,39	1802,95	176,09	17,98	< .001	7.67
Fehlerrate (1/90 s)	1,82	0,63	1,55	0,39	0,45	.331	0.19
Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-

5.3.1.2. Bedienleistung mit Sternberg Aufgabe

In den Versuchsdurchgängen mit gleichzeitiger Bearbeitung der *Sternberg Aufgabe* konnten sowohl bei niedriger als auch bei hoher Schwierigkeit der Zusatzaufgabe hochsignifikante Unterschiede der Bedienzeiten für Touchscreen und Trackball nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-19). Der quantitative Unterschied der durchschnittlichen Bedienzeit von Trackball und Touchscreen beträgt 837,32 ms bei der niedrigen und 855,03 ms bei der hohen Schwierigkeit der *Sternberg Aufgabe*.

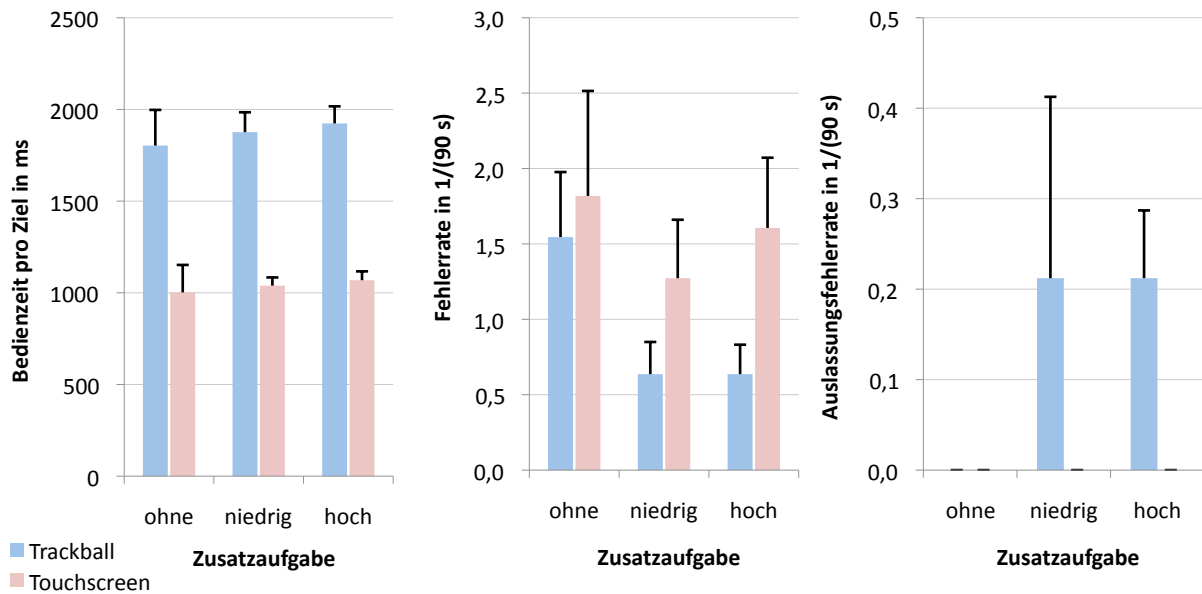


Abb. 5-14: Vergleich der Bedienleistung der Eingabelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe MT bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Tab. 5-19: Ergebnisse der Zeigeaufgabe MT und des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Sternberg Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1039,11	40,49	1068,67	97,95	9.05	< .001	3.86
	Fehlerrate (1/90 s)	1,27	0,35	0,64	0,19	1.87	.046	0.80
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,21	0,18	1.17	.135	0.50
hoch	Bedienzeit (ms)	1876,42	43,71	1876,42	84,45	12.74	< .001	5.43
	Fehlerrate (1/90 s)	1,61	0,42	0,64	0,18	2.41	.018	1.03
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,00	0,00	0,21	0,07	3.13	.005	1.33

Die Anzahl der Fehleingaben pro Versuchsdurchgang ist für die Trackballbedienung bei niedriger und hoher Schwierigkeit der Zusatzaufgabe geringer als für die Bedienung mit dem Touchscreen. In beiden Fällen ist der Unterschied jedoch nicht signifikant. In Kombination mit der leichten und der schwierigen Zusatzaufgabe traten durchschnittlich 0,21 Auslassungsfehler pro Versuchsdurchgang mit dem Trackball und 0,00 Fehler mit dem Touchscreen auf. Dieser Unterschied in der Häufigkeit des Auslassungsfehlers der beiden Interaktionsgeräte ist bei gleichzeitiger schwieriger

Zusatzaufgabe signifikant. Der Unterschied der Bedienleistung für Touchscreen- und Trackballbedienung in der Zeigeaufgabe ist anhand der Mittelwerte der abhängigen Variablen in Abb. 5-14 zusammen mit der Angabe des Standardfehlers für die getesteten Belastungssituationen dargestellt.

5.3.1.3. Bedienleistung mit Motorischer Aufgabe

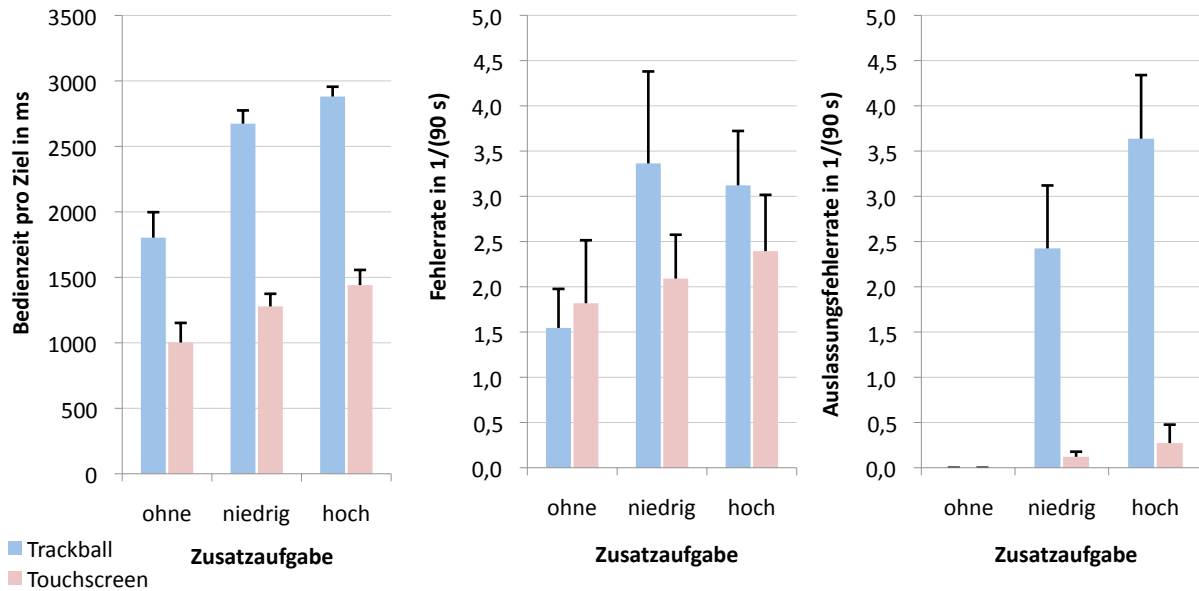


Abb. 5-15: Vergleich der Bedienleistung der Eingabeelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehler in der Zeigeaufgabe MT bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Für die Kombination der Zeigeaufgabe MT und der Zusatzaufgabe *Motorische Aufgabe* wurden für die leichte und die schwierige Zusatzaufgabe hochsignifikante Unterschiede in den Bedienzeiten mit Touchscreen und Trackball nachgewiesen (vgl. Tab. 5-20). Die Differenz der durchschnittlichen Bedienzeit beträgt für den niedrigen Belastungskontext durch die Zusatzaufgabe 1395,71 ms und 1440,02 ms für den hohen. Ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Fehleingaben pro Versuchsdurchgang in Abhängigkeit von dem verwendeten Bedienelement konnte nicht nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-20). Vergleicht man die Auslassungsfehler in der Zeigeaufgabe für die beiden Bedienelemente, ergibt sich für die beiden Schwierigkeitsstufen der *Motorischen Aufgabe* ein signifikanter Unterschied. Der Unterschied der Bedienleistung für Touchscreen und Trackball in der Zeigeaufgabe ist anhand der Mittelwerte der abhängigen Variablen in Abb. 5-15 zusammen mit der Angabe des Standardfehlers für die getesteten Belastungssituationen dargestellt. In Tab. 5-20 sind die Leistungsdaten sowie die Ergebnisse der T-Test-Analyse zusammengefasst.

Tab. 5-20: Ergebnisse der Zeigeaufgabe MT und des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Motorischen Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1277,74	87,40	2673,45	91,66	11.14	< .001	4.75
	Fehlerrate (1/90 s)	2,09	0,44	3,36	0,92	1.82	.049	0.79
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,12	0,05	2,42	0,63	3.67	.002	1.57
hoch	Bedienzeit (ms)	1440,52	104,97	2880,54	67,73	12.94	< .001	5.52
	Fehlerrate (1/90 s)	2,39	0,56	3,12	0,54	1.52	.080	0.65
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,27	0,18	3,64	0,64	5.30	<.001	2.26

5.3.1.4. Bedienleistung mit Visueller Suchaufgabe

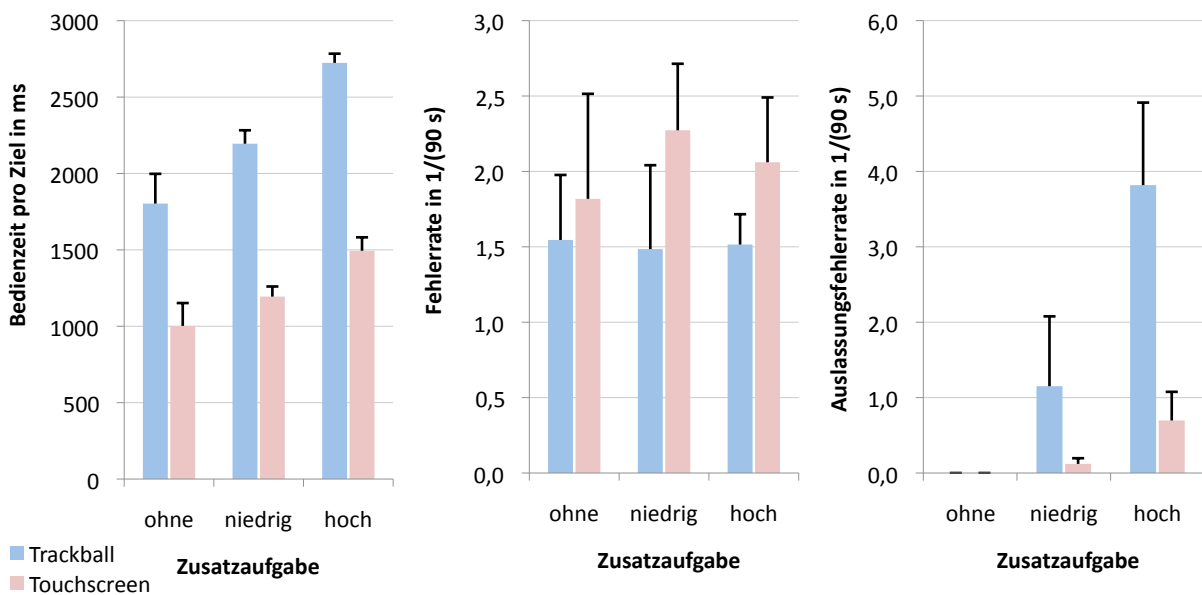


Abb. 5-16: Vergleich der Bedienleistung der Eingabeelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe MT bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

In den Versuchsdurchgängen mit gleichzeitiger Zusatzbelastung durch die Visuelle Suchaufgabe konnten für die beiden Schwierigkeitsstufen der Zusatzaufgabe hochsignifikante Unterschiede in den Bedienzeiten mit Touchscreen und Trackball nachgewiesen werden (vgl. Tab. 5-21). Der

quantitative Unterschied der durchschnittlichen Bedienzeit von Trackball und Touchscreen beträgt bei leichter Zusatzaufgabe 1000,77 ms und bei schwerer 1229,59 ms (vgl. Abb. 5-16).

Vergleicht man die Fehlerraten pro Versuchsdurchgang für Trackball und Touchscreen, so ist in beiden Schwierigkeitsstufen der Zusatzaufgabe kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Fehler mit dem Trackball und mit dem Touchscreen nachzuweisen (vgl. Tab. 5-21).

Ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Auslassungsfehler pro Versuchsdurchgang konnte in Abhängigkeit vom Bedienelement bei gleichzeitig ausgeführter schwieriger Zusatzaufgabe festgestellt werden. In der Kombination mit der leichten Zusatzaufgabe ist der Unterschied in der Anzahl der Auslassungsfehler abhängig vom verwendeten Bedienelement dagegen nicht signifikant.

Tab. 5-21: Ergebnisse der Zeigeaufgabe MT und des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Visuellen Suchaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1194,09	59,92	2194,86	75,56	10.36	< .001	4.42
	Fehlerrate (1/90 s)	2,27	0,40	1,48	0,50	1.09	.150	0.47
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,12	0,07	1,15	0,84	1.21	.128	0.51
hoch	Bedienzeit (ms)	1494,25	91,43	2723,85	54,47	11.78	< .001	5.02
	Fehlerrate (1/90 s)	2,06	0,39	1,52	0,18	1.37	.100	0.58
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,70	0,34	3,82	0,99	3.59	.002	1.53

5.3.1.5. Bedienleistung mit Komplexer Aufgabe

Die Kombination der Zeigeaufgabe MT mit der *Komplexen Aufgabe* zeigt einen hochsignifikanten Leistungsvorteil in der Bedienzeit durch den Touchscreeneinsatz (vgl. Tab. 5-22). Der quantitative Unterschied in der Bedienzeit beträgt 1527,08 ms für die leichte und 1621,32 ms für die schwere Zusatzaufgabe (vgl. Abb. 5-17). Bei niedriger und hoher Schwierigkeit der Zusatzaufgabe konnte kein signifikanter Unterschied in der Fehlerrate in Abhängigkeit des Bedienelements ermittelt werden. Vergleicht man die Anzahl der nicht ausgewählten Ziele pro Versuchsdurchgang bei Touchscreen- und Trackballbedienung, so zeigt sich bei leichter und schwerer Zusatzbelastung ein signifikanter Unterschied (vgl. Tab. 5-22).

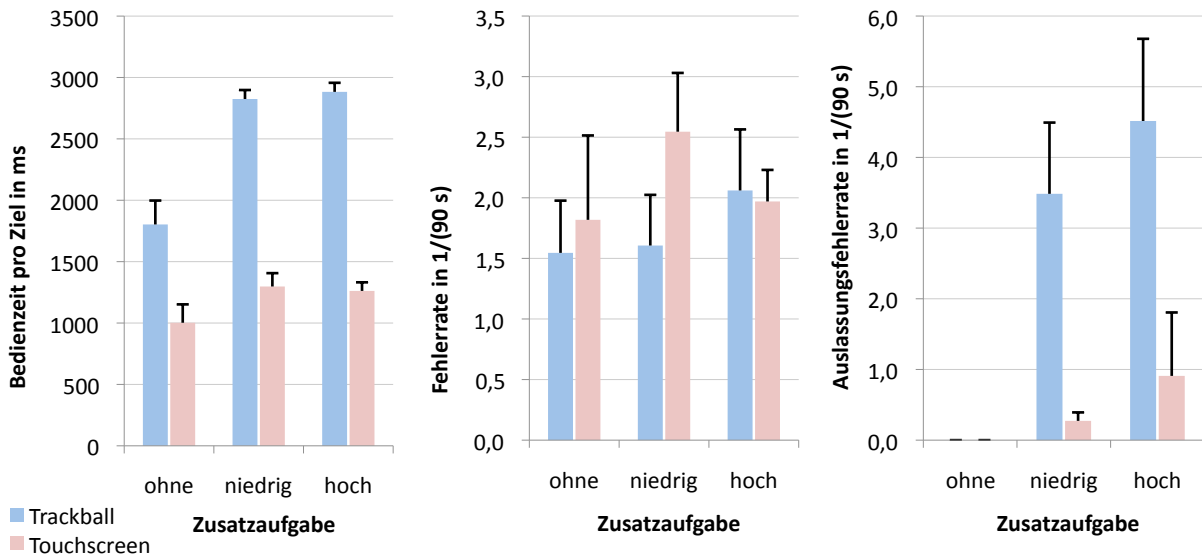


Abb. 5-17: Vergleich der Bedienleistung der Eingabeelemente Trackball und Touchscreen anhand der Leistungsmaße Bedienzeit, Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe MT bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Tab. 5-22: Ergebnisse der Zeigeaufgabe MT und des T-Tests für den Vergleich der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball in Kombination mit der Komplexen Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Bedienzeit (ms)	1297,59	98,37	2824,68	66,30	10.94	< .001	4.67
	Fehlerrate (1/90 s)	2,55	0,44	1,61	0,38	1.99	.038	0.86
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,27	0,11	3,48	0,91	3.63	.002	1.55
hoch	Bedienzeit (ms)	1261,58	63,35	2882,90	66,70	18.35	< .001	7.82
	Fehlerrate (1/90 s)	1,97	0,24	2,06	0,46	0.20	.422	0.09
	Auslassungsfehlerrate (1/90 s)	0,91	0,81	4,52	1,05	2.50	.016	1.07

5.3.2. Leistung in den Zusatzaufgaben

Es folgt eine Zusammenfassung der Leistung in den Zusatzaufgaben mit und ohne gleichzeitige Bearbeitung der Zeigeaufgabe MT. Die Darstellung der Leistungsdaten in der Zusatzaufgabe erfolgt für jede Kombination der Zeigeaufgabe mit den vier Zusatzaufgaben in einem Diagramm, das die Entwicklung der Leistung in der Zusatzaufgabe anhand der Mittelwerte und Standardfehler

der abhängigen Variablen aufzeigt. Zusätzlich zu den Leistungsdaten der Zusatzaufgabe mit gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe werden als Referenzangabe die Leistungsdaten der Zusatzaufgabe ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe dargestellt. Dadurch soll der Einfluss der Wahl des Bedienelements in der Zeigeaufgabe auf die Leistung in der Zusatzaufgabe verdeutlicht werden (vgl. Abb. 5-18). Die Leistungsdaten in der Zeigeaufgabe werden zusammen mit den Ergebnissen der Signifikanzanalyse zur besseren Übersichtlichkeit und Vergleichsmöglichkeit in jeweils einer Tabelle dargestellt (vgl. Tab. 5-24). Da Effizienz und Effektivität in den Zusatzaufgaben durch unterschiedliche Variable operationalisiert werden, werden diese aus Übersichtsgründen jeder der folgenden Leistungsbetrachtungen in einer Tabelle vorangestellt (vgl. Tab. 5-23).

5.3.2.1. Sternberg Aufgabe

Tab. 5-23: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Eingabezeit und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Sternberg Aufgabe	Eingabezeit (ms)	Zeit zwischen dem Hören der Kontroll-Zahl und der verbalen Antwort.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falscher Urteile zur Zugehörigkeit der Kontroll-Zahl pro Versuchsdurchgang.

Vergleicht man die Bedienzeit in der leichten und schweren *Sternberg Aufgabe* bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe mit dem Trackball bzw. dem Touchscreen, so ist ein kein signifikanter Unterschied in der Eingabezeit festzustellen. Gleichzeitig konnte kein signifikanter Unterschied in der Fehlerrate der leichten und schwierigen *Sternberg Aufgabe* bei gleichzeitiger Trackball- oder Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe nachgewiesen werden.

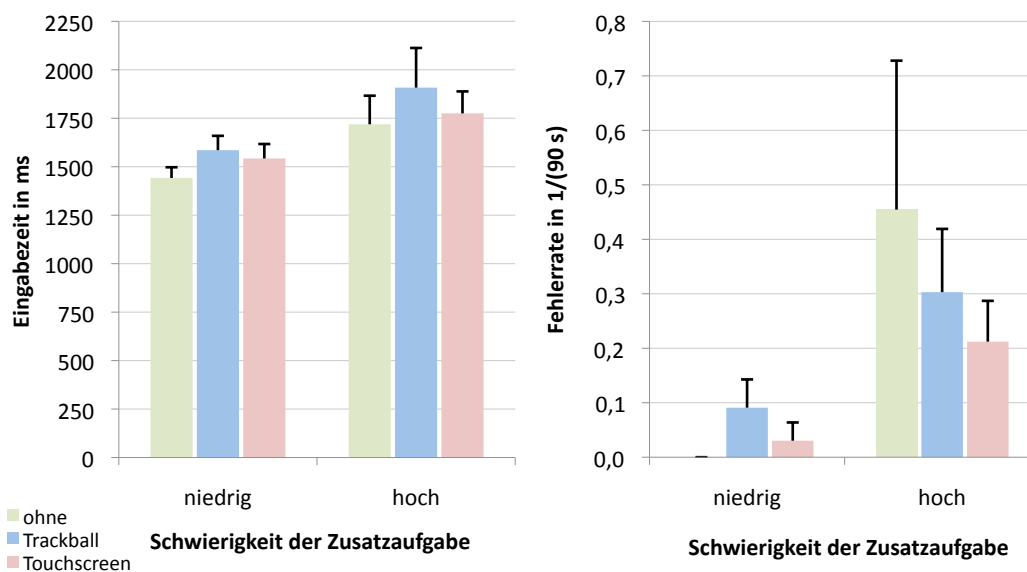


Abb. 5-18: Vergleich der Leistung in der Sternberg Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Eingabezeit und Fehlerrate in der Zusatzaufgabe bestimmt.

In Abb. 5-18 sind die Eingabeleistungen in der Zusatzaufgabe in Abhängigkeit des Bedienelements in der Zeigeaufgabe und der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe anhand der Mittelwerte der abhängigen Variablen zusammen mit der Angabe des Standardfehlers dargestellt. In Tab. 5-24 sind die Leistungsdaten sowie die Ergebnisse der T-Test-Analyse zusammengefasst.

Tab. 5-24: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Eingabezeit (ms)	1542,64	67,48	1585,41	66,93	0,88	.200	0,37
	Fehlerrate (1/90 s)	0,03	0,03	0,09	0,05	1,00	.170	0,43
hoch	Eingabezeit (ms)	1775,06	102,63	1908,01	185,11	0,96	.170	0,41
	Fehlerrate (1/90 s)	0,21	0,07	0,30	0,10	1,22	.125	0,52

5.3.2.2. Motorische Aufgabe

Tab. 5-25: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Eingabegeschwindigkeit und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Motorische Aufgabe	Eingaberate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge für die Zeit eines Versuchsdurchgangs.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl der Steckvorgänge in der falschen Reihenfolge.

In der leichten und in der schweren *Motorischen Aufgabe* wirkt sich die Wahl des Bedienelements in der Zeigeaufgabe hochsignifikant auf die Eingabegeschwindigkeit aus (vgl. Tab. 5-26). Wird die Zeigeaufgabe mit dem Touchscreen bedient, werden in der leichten und der schwierigen *Motorischen Aufgabe* deutlich mehr Eingaben pro Versuchsdurchgang getätigt als bei der Verwendung des Trackballs (vgl. Abb. 5-19). Der Einfluss des Bedienelements wirkt sich in der Fehlerrate der leichten und schweren *Motorischen Aufgabe* nicht signifikant aus. Die Fehlerrate in der leichten und schweren Zusatzaufgabe bleibt bei Touchscreenbedienung und Trackballbedienung annähernd gleich.

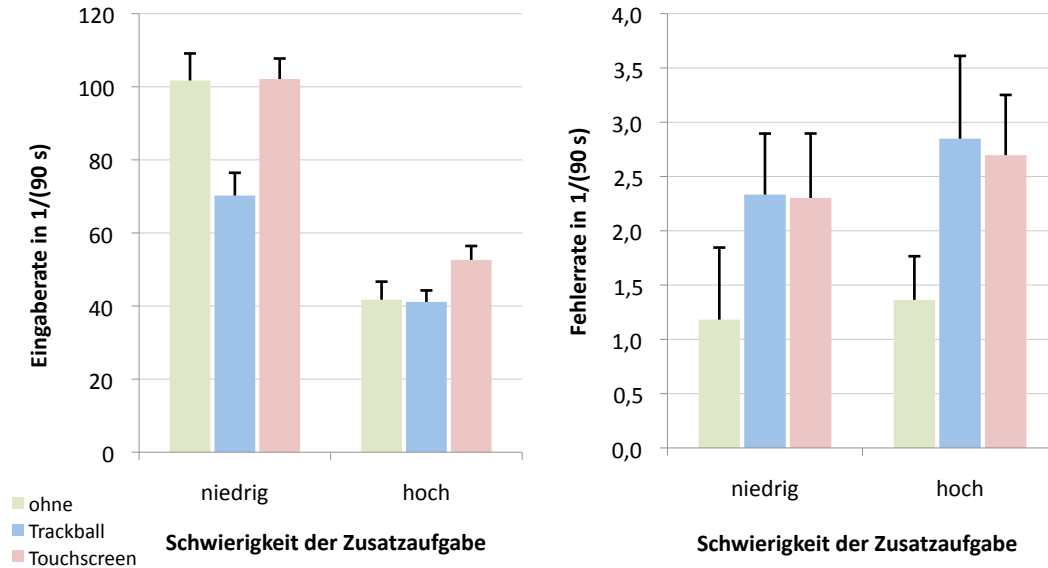


Abb. 5-19: Vergleich der Leistung in der Motorische Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Eingaberate und Fehlerrate in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-26: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Eingaberate (1/90 s)	102,12	5,08	70,24	5,62	12.05	<.001	5.14
	Fehlerrate (1/90 s)	2,30	0,54	2,33	0,51	0.07	.472	0.03
hoch	Eingaberate (1/90 s)	52,64	3,44	41,12	2,85	4.85	<.001	2.07
	Fehlerrate (1/90 s)	2,70	0,50	2,85	0,69	0.27	.393	0.12

5.3.2.3. Visuelle Suchaufgabe

Tab. 5-27: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Visuellen Suchaufgabe wird durch die abhängigen Variablen Auswahrate und Fehlerrate operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Visuelle Suchaufgabe	Auswahrate (1/90 s)	Anzahl der richtigen Seitenauswahl pro Versuchsdurchgang.
	Fehlerrate (1/90 s)	Anzahl falsch ausgewählter Seiten pro Versuchsdurchgang.

Die Auswahlrates in der Zusatzaufgabe *Visuelle Suchaufgabe* in den Schwierigkeitsstufen leicht und schwer ist bei gleichzeitiger Trackballbedienung stets geringer als bei der Touchscreenbedienung (vgl. Abb. 5-20). Die Wahl des Eingabegeräts in der Zeigeaufgabe wirkt sich dabei signifikant auf die Auswahlrates in der leichten Zusatzaufgabe aus. In der schweren Zusatzaufgabe ist lediglich eine Tendenz zugunsten des Touchscreens festzustellen. Bei der Verwendung des Trackballs und des Touchscreens in der Zeigeaufgabe werden pro Versuchsdurchgang vergleichsweise wenige Fehleingaben in der leichten bzw. schweren Zusatzaufgabe gemacht. Der Unterschied in der Fehlerrates in der leichten und schweren Zusatzaufgabe bei Trackball- und Touchscreenbedienung ist nicht signifikant (vgl. Tab. 5-28).

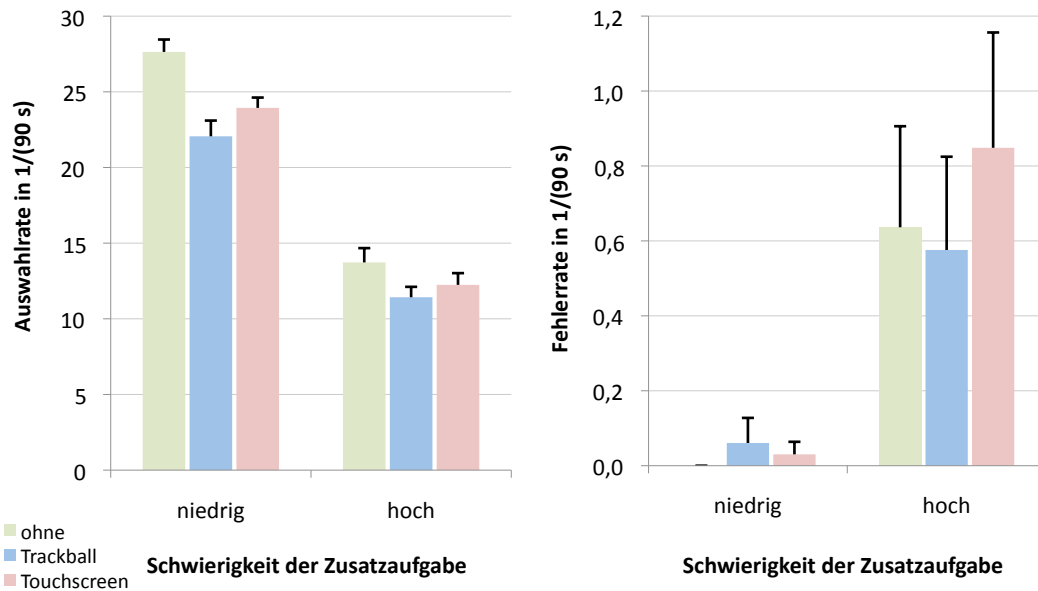


Abb. 5-20: Vergleich der Leistung in der Visuellen Suchaufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Auswahlrate und Fehlerrates in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-28: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Auswahlrate (1/90 s)	23,94	0,62	22,06	0,94	3.13	.005	1.33
	Fehlerrates (1/90 s)	0,03	0,03	0,06	0,06	1.00	.170	0.43
hoch	Auswahlrate (1/90 s)	12,24	0,70	11,42	0,62	1.88	.044	0.80
	Fehlerrates (1/90 s)	0,85	0,28	0,58	0,23	1.19	.130	0.51

5.3.2.4. Komplexe Aufgabe

Tab. 5-29: Die Leistung in der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe wird durch die abhängigen Variablen Abweichung und Erfüllungsgrad operationalisiert.

Aufgabe	Abhängige Variable	Beschreibung
Tracking	Abweichung (mm)	Durchschnittliche Abweichung (RMSE) des bewegten Kreuzes von der Sollposition.
Readback	Erfüllungsgrad (-)	Anzahl richtiger Antworten hinsichtlich der Zahlen und deren Reihenfolge in der verbalen Antwort.

In Abb. 5-21 lässt sich ein deutlicher Unterschied in der Leistung der *Tracking-Aufgabe* in Abhängigkeit des Bedienelements in der Zeigeaufgabe feststellen. Die mittlere Abweichung in der *Tracking-Aufgabe* ist bei gleichzeitigen Touchscreeneingaben auf dem Großflächendisplay signifikant niedriger als bei Trackballeingaben (vgl. Tab. 5-30).

Dies gilt für die niedrige wie für die hohe Belastungsstufe der Zusatzaufgabe. Es konnte in der leichten *Readback-Aufgabe* kein signifikanter Unterschied im Erfüllungsgrad in Abhängigkeit des Bediengeräts in der Zeigeaufgabe festgestellt werden. Der Unterschied im Erfüllungsgrad der *Readback-Aufgabe* ist in der schweren Zusatzaufgabe dagegen signifikant abhängig vom Bediengerät in der Zeigeaufgabe.

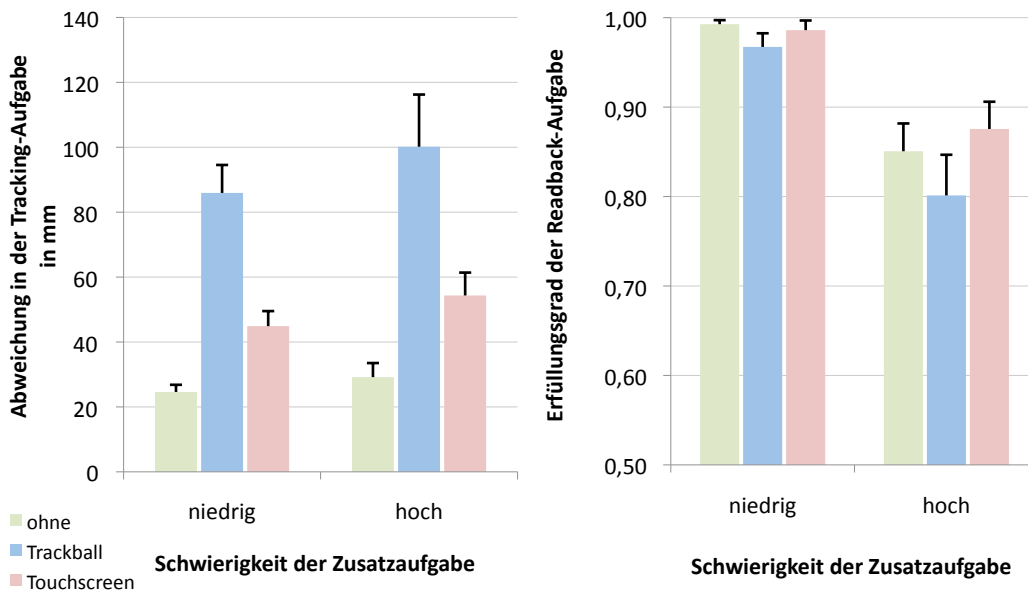


Abb. 5-21: Vergleich der Leistung in der Komplexen Aufgabe in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe abhängig von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement. Die Leistung wird anhand der Leistungsmaße Abweichung (Tracking) und Erfüllungsgrad (Readback) in der Zusatzaufgabe bestimmt.

Tab. 5-30: Ergebnisse der T-Test-Analyse für den Vergleich der Bedienleistung in der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe in Abhängigkeit von dem in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelement Es wird die Bedienleistung der Zusatzaufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch betrachtet.

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe	Abhängige Variable	Touchscreen		Trackball		Ergebnis der T-Test-Analyse		
		MV	SE	MV	SE	t ₍₁₀₎	p	ε'
niedrig	Abweichung (mm)	44,89	4,20	85,93	7,79	8.28	<.001	3.53
	Erfüllungsgrad (-)	0,986	0,010	0,967	0,014	1.13	.142	0.48
hoch	Abweichung (mm)	54,34	6,38	100,18	14,54	3.93	.001	1.67
	Erfüllungsgrad (-)	0,876	0,028	0,801	0,041	3.84	.002	1.64

5.3.3. Diskussion

Im Versuchteil MT wurde der Einfluss der beiden Bediengeräte Trackball und Touchscreen auf die Leistung in der Zeigeaufgabe und in den Zusatzaufgaben untersucht. Die Auswahl mehrerer Ziele aus einer Grundgesamtheit statischer und bewegter Ziele sowie Distraktoren in der Zeigeaufgabe berücksichtigt konkrete Einwahlvorgänge des Piloten in Flugzeugcockpits (vgl. Kap. 3.3.1). Es wird damit die Betrachtung der Leistungsfähigkeit der Trackball- und Touchscreenbedienung auf einen realitätsnahen Kontext der Zeigeaufgabe erweitert. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Versuchteils MT hinsichtlich der Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe in Abhängigkeit der Wahl des Bedienelements diskutiert und im Rahmen der Prüfung der Hypothesen interpretiert. Hierzu werden zusätzlich die Ergebnisse des Versuchsteils ST herangezogen (vgl. Kap. 5.2.3).

Tab. 5-31: Zusammenfassung der Ergebnisse der T-Test-Analyse der abhängigen Variablen zur Leistungsbestimmung bei Trackball- und Touchscreenbedienung in der **Zeigeaufgabe MT**. Signifikante Ergebnisse sind entsprechend dem Bedienelement mit Leistungsvorteil mit „TS“ und „TB“ gekennzeichnet.

Zusatzaufgabe	Keine	Sternberg		Motorisch		Visuell		Komplex	
(Schwierigkeitsstufe: niedrig: -, hoch: +)	/	-	+	-	+	-	+	-	+
Bedienzeit (ms)	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS	TS
Fehlerrate (1/90 s)			TB						
Auslassungsfehler (1/90 s)			TS	TS	TS		TS	TS	TS

In Abb. 5-22, Abb. 5-23 und Abb. 5-24 sind die Leistungsdaten der Zeigeaufgabe MT in Abhängigkeit der gleichzeitig bearbeiteten Zusatzaufgaben dargestellt. Die Ergebnisse der T-Test-Analyse sind für Zeige- in Tab. 5-31 und Zusatzaufgaben in Tab. 5-32 zusammengefasst. Signifikante Leistungsunterschiede in Zeige- bzw. Zusatzaufgabe zwischen Touchscreen- bzw. Trackballbedie-

nung sind mit einem „TS“ bei Vorteilen durch die Touchscreenbedienung und mit einem „TB“ bei Vorteilen durch den Trackball gekennzeichnet.

Tab. 5-32: Zusammenfassung der Ergebnisse der T-Test-Analyse der Leistung in den **Zusatzaufgaben**. Signifikante Ergebnisse sind entsprechend dem Bedienelement mit Leistungsvorteil mit „TS“ und „TB“ gekennzeichnet.

Zusatzaufgabe (Schwierigkeitsstufe: niedrig: -, hoch: +)	Sternberg		Motorisch		Visuell		Komplex	
	-	+	-	+	-	+	-	+
Eingabezeit (ms)								
Fehlerrate (1/90 s)								
Eingaberate (1/90 s)			TS	TS				
Fehlerrate (1/90 s)								
Auswahlrate (1/90 s)					TS			
Fehlerrate (1/90 s)								
Abweichung (mm)							TS	TS
Erfüllungsgrad (-)								TS

Die **Bedienzeiten** der Zeigeaufgabe sind im Versuchsteil MT für Touchscreen- und Trackballbedienung quantitativ niedriger als im Versuchsteil ST (vgl. Abb. 5-22). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Versuchspersonen in den meisten Fällen die Strategie verfolgten, die drei Ziele direkt nacheinander anzuwählen. Dabei verkürzen sich die Blickzeiten zwischen Zusatz- und Zweitaufgabe sowie die Zeit, die für die Zuwendung der kognitiven Aufmerksamkeit auf die Zeigeaufgabe benötigt wird und erlauben kürzere Bedienzeiten pro Ziel als bei der Auswahl einzelner Ziele. Der quantitative Unterschied der Bedienzeiten in der Zeigeaufgabe mit den beiden Eingabegeräten ist für jede Kombination mit einer Zusatzaufgabe hochsignifikant und nimmt gegenüber dem Versuchsteil ST zu. Die Zunahme der Bedienzeitdifferenz lässt sich darauf zurückführen, dass sich die Hand bei der Durchführung von Anwahlsequenzen mit dem Touchscreen nach der ersten Anwahl bereits auf der Displayfläche befindet und weitere Anwahlvorgänge dann vergleichsweise schnell durchgeführt werden können. Dieser Vorteil wirkt sich bei Trackballeingaben nicht in gleichem Maße aus, da sich die linke Hand im Versuchsteil ST und MT stets eingabebereit auf dem Trackball befindet.

Die Bedienzeiten sowie die Bedienzeitdifferenzen zwischen Touchscreen- und Trackballanwendung sind bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgaben *Motorische* und *Komplexe Aufgabe*, verglichen mit den übrigen Zusatzaufgaben, hoch. Der Vorteil des Touchscreens macht sich zugleich in der Leistung der Zusatzaufgaben signifikant bemerkbar. Die Touchscreenbedienung führt offenbar durch die Nutzung fertigkeitbasierter Handlungsmodelle (Rasmussen et al., 1994) zu einer geringeren Beanspruchung motorischer Ressourcen. Verglichen mit den Leistungsdaten der *Motorischen Aufgabe* in Versuchsteil ST ist in Versuchsteil MT kein signifikanter Unterschied in der Fehlerrate der Zusatzaufgabe bei gleichzeitiger Verwendung des Touchscreens bzw. des

Trackballs mehr festzustellen. Die Anzahl der richtigen Eingaben in der Zusatzaufgabe ändert sich bei Touchscreenbedienung nur wenig, bei Trackballbedienung nimmt die Anzahl der Eingaben dagegen ab. Es ist anzunehmen, dass die erhöhten Anforderungen in der Zeigeaufgabe dazu führen, dass die Versuchspersonen die Anzahl der richtigen Eingaben auf Kosten eines Ansteigens der Fehlerrate schützen. Bei der Verwendung des Touchscreens ist die Wirkung der Schutzfunktion festzustellen. Die Trackballbedienung führt bei gleichzeitigem Ansteigen der Fehlerzahl dennoch zu einem Absinken der Anzahl der richtigen Eingaben. Dies wird gleichermaßen durch die Ergebnisse der T-Tests unterstützt. So liegen die T-Werte im Versuchsteil MT für die abhängige Variable *Anzahl der richtigen Eingaben* deutlich über denen des Versuchsteils ST (vgl. Kap. 5.2.2.2 & 5.3.2.2). Es scheint also in der schweren *Motorischen Aufgabe* im Versuchsteil MT ein deutlicher Vorteil des Touchscreens hinsichtlich der Auslastung der motorischen Ressource gegenüber dem Trackball vorzuliegen (vgl. Abb. 5-22).

In der Zeigeaufgabe MT treten wie in der Zeigeaufgabe ST in der Kombination mit der schweren Komplexen Aufgabe signifikante Unterschiede in der Leistung der *Readback-Aufgabe* in Abhängigkeit des Bedienelements auf. Betrachtet man hier die T-Werte der Signifikanztests für den Versuchsteil MT, so ist auffällig, dass der Leistungsunterschied in der *Tracking-Aufgabe* zwischen Touchscreen und Trackball von der leichten hin zur schweren Zusatzaufgabe abnimmt. Im Versuchsteil ST nimmt dieser Unterschied dagegen zu. Gleichzeitig steigt der Unterschied des Erfüllungsgrads der *Readback-Aufgabe* im Versuchsteil MT von der leichten zur schweren Zusatzaufgabe stärker an als im Versuchsteil ST. Vergleicht man zusätzlich die absoluten Leistungsdaten der Zusatzaufgabe, so ist festzustellen, dass die *Readback-Aufgabe* in der leichten Version bei der Zeigeaufgabe MT beinahe vollständig bearbeitet wird. In der schwierigen Ausprägung der Zusatzaufgabe nimmt der Erfüllungsgrad der Bearbeitung für beide Bedienelemente deutlich ab. Die Abnahme ist jedoch für den Trackball stärker als für den Touchscreen. Dies legt die Vermutung nahe, dass die leichte *Readback-Aufgabe* nicht schwierig genug war, um Interaktionen zwischen Zeige- und Zusatzaufgabe feststellen zu können. In der schweren Zusatzaufgabe werden diese Interaktionseffekte dagegen deutlich. Die Gesamtbelastung der kognitiven Ressource ist hier bei Trackballbedienung so hoch, dass sich eine stärkere Beeinträchtigung bei der Bearbeitung der *Readback-Aufgabe* einstellt, als dies mit dem Touchscreen der Fall ist (vgl. Abb. 5-22).

Betrachtet man die Leistungsdaten in Zeige- und Zusatzaufgabe in den Versuchsteilen ST und MT kombiniert mit der Komplexen Aufgabe, scheint sich zusätzlich eine Fokussierung der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen auf die *Readback-Aufgabe* einzustellen. Die Leistung in der *Tracking-Aufgabe* nimmt dabei mit steigender Schwierigkeit von Zeige- und Zusatzaufgabe stetig ab, wobei der Erfüllungsgrad in der *Readback-Aufgabe* diesbezüglich eher konstant bleibt. Die *Tracking-Aufgabe* ist eine vielgeübte Aufgabe der Versuchspersonen, die *Readback-Aufgabe* stellt dagegen eine eher abstrahierte Form der Aufgaben im Cockpit dar. Es ist also davon auszugehen, dass die Versuchspersonen versucht haben, eher die Leistung in der „unbekannten“ Zusatzaufgabe auf Kosten der Leistung in der bekannten *Tracking-Aufgabe* zu schützen. Aufgrund der Leistungsunterschiede in der schweren *Readback-Aufgabe* zwischen Touchscreen und Trackball ist an dieser Stelle neben motorischen Interferenzen, wie sie auch in der *Motorischen Aufgabe* auftreten mit Interferenzeffekten der kognitiven Ressource zu rechnen, die bei Trackballbedienung deutlich ausgeprägter in Erscheinung treten als bei Touchscreenbedienung.

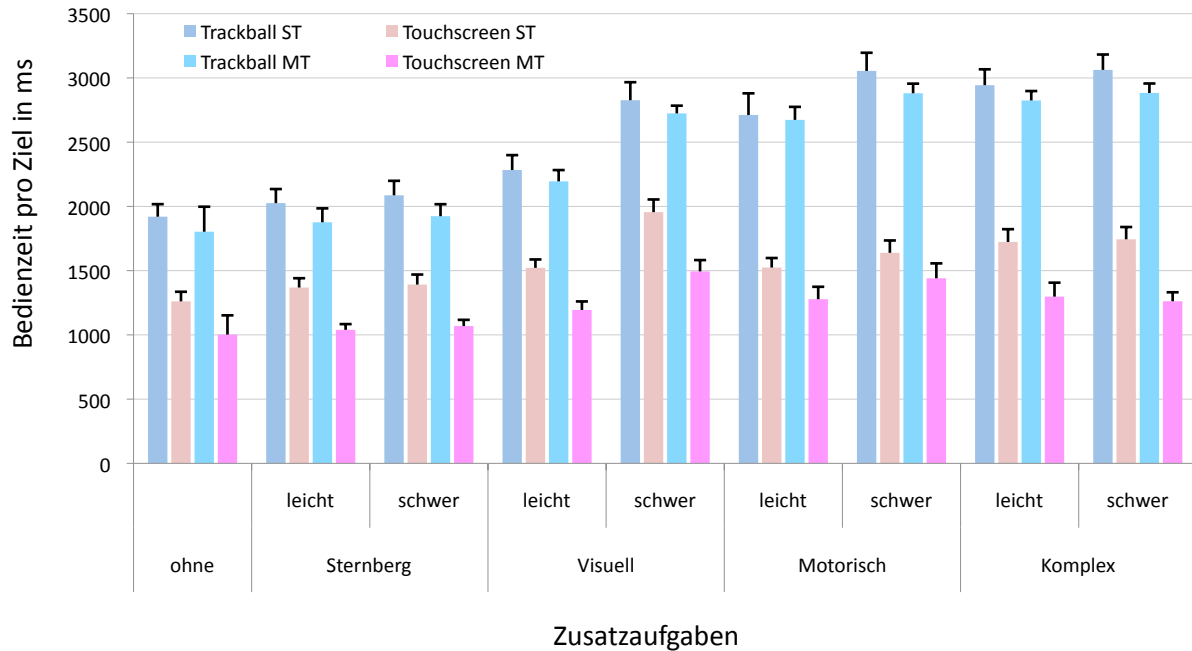


Abb. 5-22: Darstellung der mittleren Bedienzeit mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe MT und ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Die Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe sind bei gleichzeitiger Bearbeitung der *Sternberg Aufgabe* verglichen mit den Bedienzeiten ohne Zusatzaufgabe weiterhin gering. Ein deutlicher Einfluss der kognitiven Belastung der *Sternberg Aufgabe* in der niedrigen und hohen Schwierigkeitsstufe ist in der Bedienzeit der Zeigeaufgabe nicht festzustellen. Es können in der Fehlerrate und Auslassungsfehlerrate in der Zeigeaufgabe signifikante Unterschiede bei Trackball- und Touchscreenbedienung nachgewiesen werden, diese sind jedoch gegenläufig, quantitativ sehr gering und lassen daher keinen erheblichen Einfluss der *Sternberg Aufgabe* auf die Zeigeaufgabe erwarten. Gleiches gilt für die Leistung der Zusatzaufgabe, für die keine Abhängigkeit von der Wahl des Eingabegeräts in der Zeigeaufgabe festzustellen ist. Die Leistung in der kognitiven Komponente der schweren *Readback Aufgabe* ist dagegen wie in Versuchsteil ST signifikant besser bei der Verwendung des Touchscreens als mit dem Trackball. Der Einfluss des Bedienelements der Zeigeaufgabe auf die Leistung in der Zusatzaufgabe bei erhöhter kognitiver Belastung ist daher weiter zu vermuten, aber auch für die Zeigeaufgabe MT kombiniert mit der *Sternberg Aufgabe* nicht nachzuweisen.

Die *Visuelle Suchaufgabe* zeigt im Versuchsteil MT eine starke Zunahme der Bedienzeit mit steigender Schwierigkeit der Zusatzaufgabe für die Trackballbedienung, verglichen mit dem Touchscreen. Es ist zudem für die schwere *Visuelle Suchaufgabe* eine signifikant höhere Anzahl an Auslassungsfehlern bei Trackball-, als bei Touchscreenbedienung nachzuweisen. In der leichten Schwierigkeitsstufe der *Visuellen Suchaufgabe* ist die Anzahl der richtigen Eingaben in der Zusatzaufgabe signifikant höher bei der Verwendung des Touchscreens. Es lassen sich also Vorteile in Zeige- und Zusatzaufgabe feststellen, die auf die Verwendung des Touchscreens zurückgeführt werden können. Da sich die Auswirkungen in der leichten und schweren Zusatzaufgabe unterschiedlich in den Leistungsparametern abzeichnen, sind diese differenziert zu betrachten. Es ist anzunehmen, dass durch die komplexere Zeigeaufgabe MT längere visuelle Fixationszeiten auf dem Großflächendisplay auftreten, die zu Interaktionen zwischen der Beanspruchung der visuel-

len Ressourcen in Zeige- und Zusatzaufgabe führen. Die in Versuchsteil ST festgestellten Deckeneffekte relativieren sich in Versuchsteil MT offenbar durch die höhere Bindung visueller Ressourcen in der Zeigeaufgabe und wirken sich entsprechend auf die Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe aus.

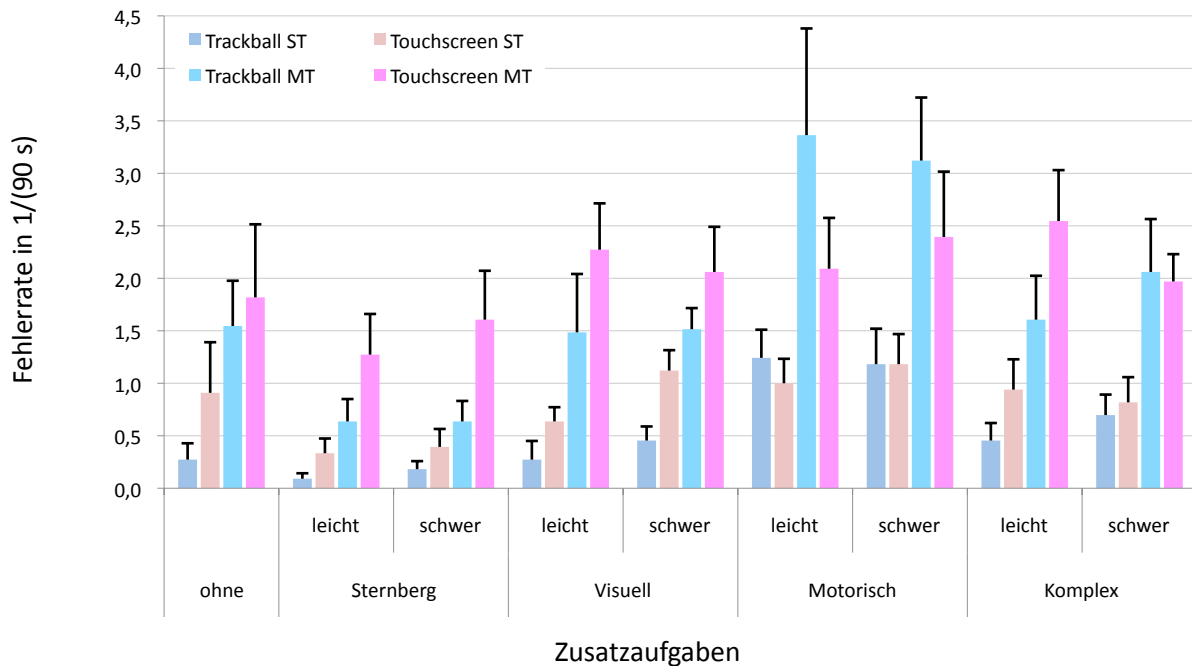


Abb. 5-23: Darstellung der Fehlerrate mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe MT und ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Für die Trackballbedienung sind bei gleicher Größe der Aktivierungsflächen geringere **Fehlerraten** zu erwarten als bei Touchscreenbedienung (vgl. Abb. 5-23). Durch die Anpassung der Größe der Aktivierungsflächen kann die Fehlerrate der beiden Bedienelemente beeinflusst werden. Im Versuchsteil MT ist bis auf den Belastungskontext der schwierigen *Sternberg Aufgabe* kein Vergleich der Fehlerraten für Trackball und Touchscreen signifikant. Bei gleichzeitiger Bearbeitung der *Sternberg Aufgabe* sind weniger Fehler bei Trackball als bei Touchscreenbedienung aufgetreten, der quantitative Unterschied ist jedoch vergleichsweise gering, so dass auch für die Zeigeaufgabe MT zusammenfassend nicht mit mehr Fehleingaben bei Touchscreenbedienung als bei Trackballbedienung zu rechnen ist. In der *Motorischen Aufgabe* kehrt sich der quantitative Unterschied in die gegenteilige Richtung. Hier wurden weniger Fehleingaben mit dem Touchscreen gemacht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Anwahl bewegter Ziele mit dem Trackball bei starken Interaktionseffekten der motorischen Ressource zwischen Zeige- und Zusatzaufgabe erheblich schwieriger als mit dem Touchscreen ist. Aufgrund der hohen Werte des Standardfehlers sind diese Unterschiede nicht signifikant.

Die Größe der Aktivierungsfläche war wie in der Zeigeaufgabe ST auch für die komplexere Zeigeaufgabe MT ausreichend dimensioniert. Eingabefehler, die auf eine Fehlhaltung der Hand bei Touchscreeneingaben zurückgeführt werden können, traten in der Zeigeaufgabe MT in gleicher Art auf wie im Versuchsteil ST. Die quantitative Zunahme der Eingabefehlerrate ist im Versuchsteil MT auf die gestiegene Komplexität der Zeigeaufgabe zurückzuführen (vgl. Abb. 5-23).

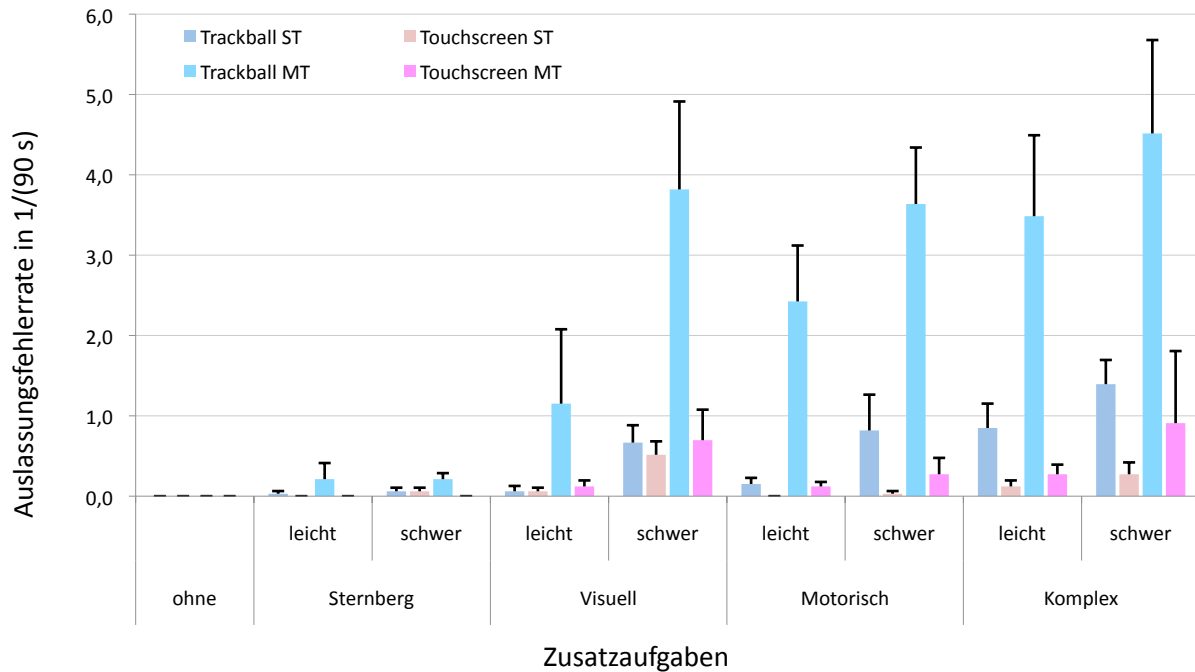


Abb. 5-24: Darstellung der Auslassungsfehlerrate mit Angabe des Standardfehlers für Trackball- und Touchscreenbedienung in der Zeigeaufgabe MT und ST ohne und in Kombination mit den Zusatzaufgaben in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

Verglichen mit dem Versuchsteil ST wurden in der Zeigeaufgabe MT bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zusatzaufgaben schwere *Visuelle Suchaufgabe*, *Motorische Aufgabe* und *Komplexe Aufgabe* deutlich mehr **Auslassungsfehler** aufgezeichnet (vgl. Abb. 5-24). Hier zeigt sich in besonderem Maße die Zunahme von Interaktionseffekten zwischen Zeige- und Zusatzaufgaben durch die Belastung motorischer, visueller und kognitiver Ressourcen bei Trackballbedienung in der Zeigeaufgabe. Der erhebliche Unterschied zwischen Trackball und Touchscreen kann durch die verschiedenen starke Beanspruchung der verfügbaren Ressourcen durch das fertigkeitbasierte Verhalten bei Touchscreeneingaben und das regelbasierte Verhalten bei Trackballeingaben beschrieben werden (Rasmussen, 1983).

Die Wahl des Bediengeräts wirkt sich also bei Zunahme der Komplexität der Zeigeaufgabe deutlich auf den Erfüllungsgrad bzw. die Vollständigkeit der Bearbeitung der Zeigeaufgabe aus. Abhängig von der gleichzeitig zu bearbeitenden Zusatzaufgabe ist es mit dem Touchscreen, im Gegensatz zum Trackball, möglich in der begrenzten Zeit die gestellte Aufgabe bis auf wenige Ausnahmen vollständig zu bearbeiten (vgl. Abb. 5-24). Dies stellt vor allem in hochagilen Flugzeugen einen entscheidenden Leistungsvorteil dar.

Es treten in keiner Kombination aus Zeige- und Zusatzaufgabe gegenläufige Leistungen in den beiden Aufgaben auf, so dass davon ausgegangen werden könnte, dass die Versuchspersonen einen der Teilaspekte der Gesamtaufgabe durch unterschiedliche Aufmerksamkeitsverteilung zu schützen versuchten.

5.4. Belastungsstruktur

In den Kap. 5.2 und 5.3 wurde nachgewiesen, dass sich Qualität und Höhe der Belastung charakteristisch auf die Leistung in den zu bearbeitenden Aufgaben auswirken. Belastung wird nach Kap. 3.3.2 in die Belastungsqualitäten visuell, auditiv, kognitiv, verbal und motorisch aufgeteilt. Abhängig von den zu bearbeitenden Aufgaben, in diesem Fall Zeige- und Zusatzaufgabe, treten unterschiedliche Kombinationen der Belastungsqualitäten auf. Je nach Schwierigkeit der Aufgaben variiert die Höhe der Belastung der einzelnen Qualitäten. Aus den auftretenden Kombinationen der Belastungsqualitäten und deren Belastungshöhe lässt sich mit dem CWP (vgl. Kap. 3.3.2) für jede Aufgabenkombination eine Belastungsstruktur bestimmen.

Die im Verlauf der Versuchsdurchführung erhobenen Belastungsstrukturen erlauben die Überprüfung der Auswahl der eindimensionalen Zusatzaufgaben sowie die Sicherstellung der Repräsentativität der multidimensionalen Zusatzaufgabe hinsichtlich der in den Flugzeugcockpits auftretenden Belastungen. Zudem ermöglichen die Belastungsstrukturen eine weiterführende Interpretation der Aufgabenleistung hinsichtlich einer vom Eingabeelement abhängigen Interaktion von Zeige- und Zusatzaufgabe im Falle einer simultanen Belegung gleicher Aufmerksamkeitsressourcen. In diesem Fall ist ein Ansteigen der entsprechenden Belastungsqualität bei gleichzeitigen Leistungseinbußen in Zeige- oder Zusatzaufgabe zu erwarten.

Im Folgenden wird für jede Kombination aus Zeige- und Zusatzaufgabe die Belastungsstruktur ermittelt. Die Erhebung der Höhe der Belastungsqualitäten erfolgte nach jedem Versuchsdurchgang anhand des CWP-Fragebogens (vgl. Kap. 3.3.2). Die Belastungsstruktur setzt sich aus der über alle Versuchspersonen gemittelten Belastungshöhe der einzelnen Qualitäten zusammen und ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die Darstellung der Belastungshöhen wird durch eine Verbindungslinie der Belastung in den einzelnen Qualitäten ergänzt, die nur zur Illustration und Vergleichbarkeit der Belastungsstrukturen dient und nicht als quantitativer Übergang von beispielsweise visueller zu auditiver Belastung zu sehen ist. Die Belastungsqualitäten sind daher als singuläre Ressourcenentitäten zu verstehen. Eine quantitative Interpretation der Daten wird aufgrund der subjektiven Einschätzung der Belastung durch die Versuchspersonen nicht empfohlen.

5.4.1. Zeigeaufgaben

Betrachtet man die in Abb. 5-25 dargestellte Belastung in den Zeigeaufgaben ST und MT ohne gleichzeitige Bearbeitung einer Zusatzaufgabe, zeigt sich eine charakteristische Belastungsstruktur. Auditive und verbale Belastung treten wie erwartet nicht auf. Die Höhe der motorischen Belastungsqualität ist in erster Linie von der Wahl des Bedienelements abhängig. Die Werte für die Trackballbedienung sind erkennbar höher als bei der Verwendung des Touchscreens. Der Einfluss der Zeigeaufgabe ist dagegen eher gering. Die kognitive Belastung ist, verglichen mit den anderen Versuchsvariationen, eher gering ausgeprägt. Sie nimmt alleine in der mit dem Trackball bedienten Aufgabe MT höhere Werte an. Dies könnte auf einen Anstieg der kognitiven Komponente bei komplexeren Zeigeaufgaben hindeuten, ist jedoch anhand der hier erhobenen Daten nicht nachzuweisen. Die visuelle Belastung ist dagegen für alle Varianten von Zeigeaufgaben und Bedienelementen annähernd unverändert, wobei eine Bindung der visuellen Ressource an die Zeigeaufgaben und an das Bediengerät erkennbar ist.

In den Zeigeaufgaben ST und MT dominieren vor allem motorische, visuelle und auch kognitive Belastung, wobei die Höhe der Belastung insgesamt deutlich vom Bedienelement abhängig ist.

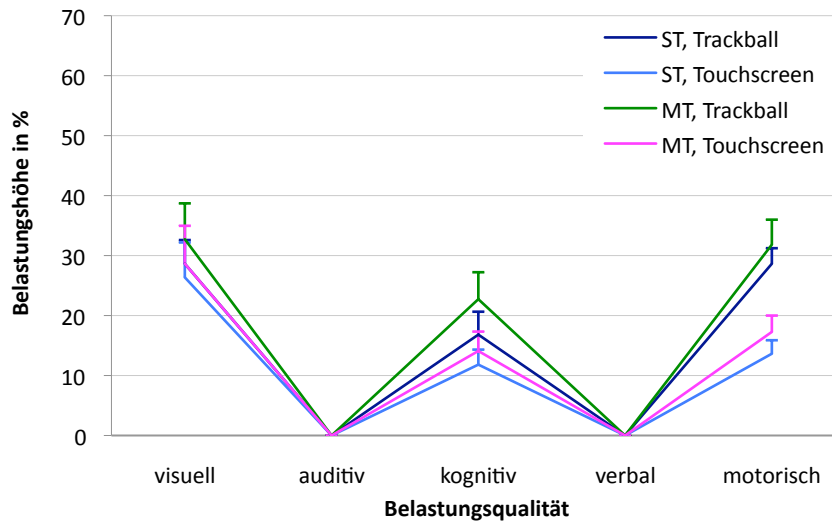


Abb. 5-25: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zeigeaufgaben ST und MT ohne gleichzeitige Zusatzaufgabe, die eine deutliche Belastung der visuellen, kognitiven und motorischen Komponente zeigt. Die Belastungshöhe wird für jede Belastungsqualität in Prozent der maximal möglichen Belastung angegeben. Für jede Belastungsqualität sind Werte zwischen 0 und 100 % möglich.

5.4.2. Eindimensionale Zusatzaufgaben

5.4.2.1. Sternberg Aufgabe

Die Belastungsstruktur der *Sternberg Aufgabe* zeigt ohne gleichzeitige Bearbeitung einer Zeigeaufgabe wie erwartet eine Belastung der kognitiven, auditiven und verbalen Ressourcen (vgl. Abb. 5-26). Es ist ein deutlicher Anstieg der kognitiven Last zwischen der leichten und der schweren *Sternberg Aufgabe* zu erkennen. Die erkennbar höheren Werte der Belastungsqualitäten in der schweren Zusatzaufgabe lassen auf einen Anstieg der visuellen und kognitiven Belastung schließen. Die geringen Fehlerzahlen in der leichten und schweren Zusatzaufgabe sowie die geringe Änderung der Eingabezeiten in der Zeigeaufgabe mit und ohne kognitiver Zusatzaufgabe lassen vermuten, dass der Anstieg der kognitiven Belastung quantitativ nicht aussagekräftig ist und alleine für den direkten Vergleich zwischen den beiden Ausprägungen der Zusatzaufgabe qualitative Aussagen zulässt. Dies weist trotz des quantitativ hohen Belastungsniveaus auf eine eher geringe kognitive Belastung durch diese Ausprägung der Aufgabe hin. Die verbale Belastung ist wie beabsichtigt für beide Schwierigkeitsstufen gering.

Vergleicht man die Belastungsstruktur der Kombination aus *Sternberg Aufgabe* und den Zeigeaufgaben in Abb. 5-27 mit der Grundbelastung der Zeigeaufgaben (vgl. Abb. 5-25) und der *Sternberg Aufgabe* (vgl. Abb. 5-26), so ergibt sich wie erwartet eine Überlagerung der fünf Belastungsdimensionen der beiden Zeigeaufgaben ST und MT mit der Belastung der Zusatzaufgabe. Ein Unterschied der kognitiven Belastung ist in Abhängigkeit des Bediengeräts qualitativ festzustellen, wiewenig die quantitative Ausprägung vergleichsweise gering ist.

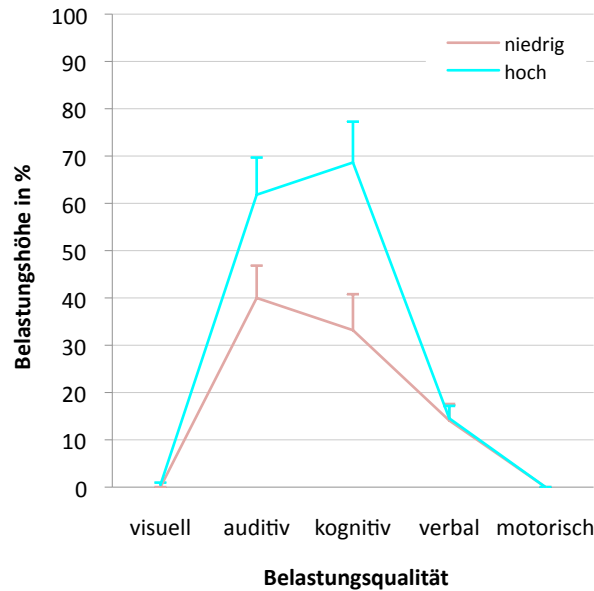


Abb. 5-26: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe. Am stärksten ausgeprägt sind die auditive und die kognitive Belastungskomponente.

Es liegt daher die Vermutung nahe, dass sich die kognitive Belastung der Zeigeaufgabe und der Sternberg Aufgabe additiv überlagern und gleichzeitig keine Interaktionen zwischen Zeige- und Zusatzaufgabe auftreten, was an äußerst geringen Leistungsänderungen in Zeige- und Zusatzaufgabe zu erkennen ist. Man kann folglich davon ausgehen, dass im Rahmen der durchgeführten Versuche zwischen den Zeigeaufgaben ST und MT und der Sternberg Aufgabe keine Interaktionen hinsichtlich kognitiver Belastung in Abhängigkeit des Bedienelements aufgetreten sind.

Die geringen Leistungsänderungen in den unterschiedlichen Ausprägungen und Kombinationen der Zusatzaufgabe lassen im Kontext der Belastungsstruktur wie bereits vermutet auf eine insgesamt niedrige kognitive Belastung schließen. Ein Auftreten von Interaktionen kognitiver Ressourcen zwischen Zeige- und Zusatzaufgabe, abhängig von der Wahl des Bedienelements, kann für ein höheres Belastungsniveau nicht ausgeschlossen werden.

Die Sternberg Aufgabe eignet sich in den hier verwendeten Schwierigkeitsausprägungen zur Aufbringung moderater kognitiver Belastung, die aufgrund der Aufgabengestaltung jedoch stets gleichzeitig auditive und verbale Belastung induziert.

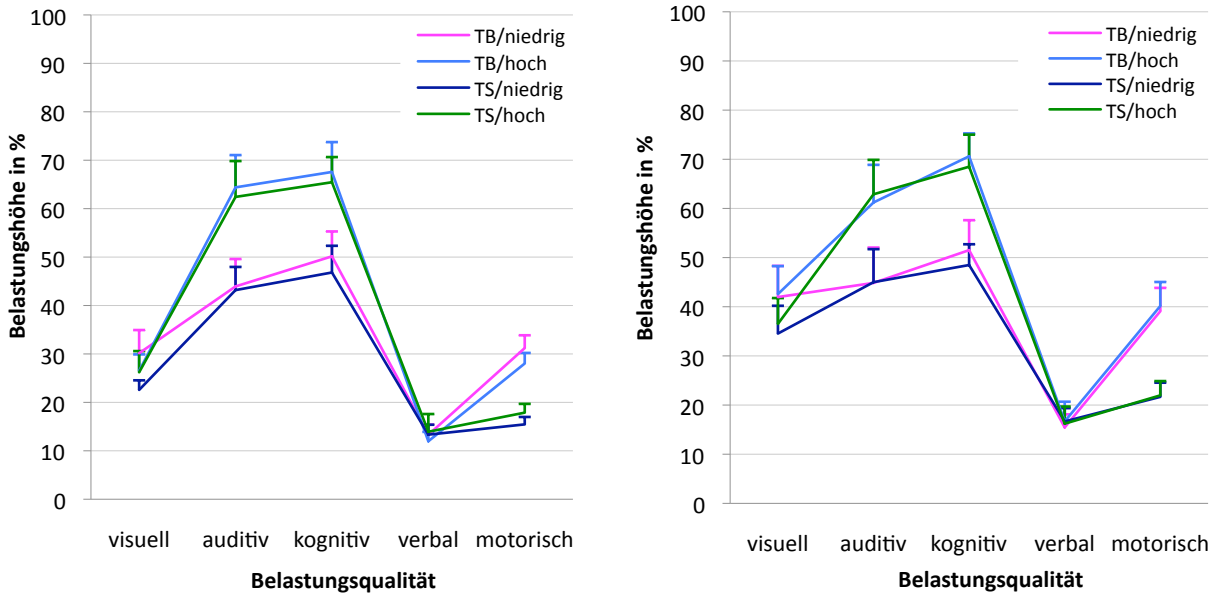


Abb. 5-27: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Sternberg Aufgabe mit Touchscreen (TS) und Trackball (TB) bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe ST (linkes Diagramm) und MT (rechtes Diagramm) in den Schwierigkeitsstufen niedrig und hoch.

5.4.2.2. Motorische Aufgabe

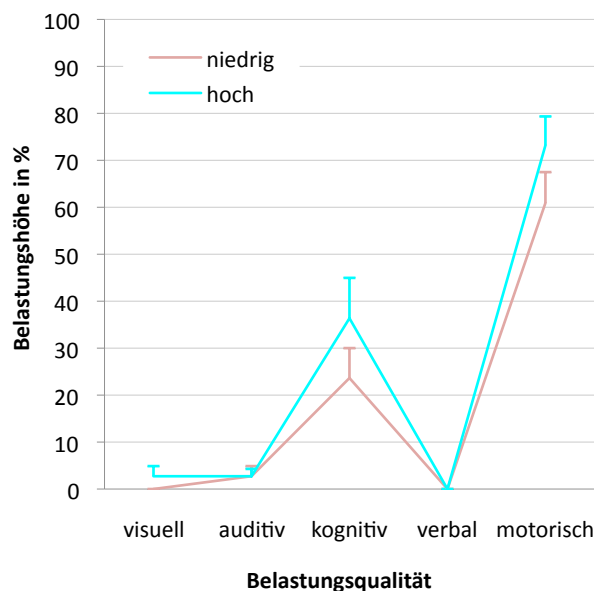


Abb. 5-28: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Motorische Aufgabe ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe. Am stärksten ausgeprägt sind die kognitive und die motorische Belastungskomponente.

Die Belastungsstruktur der *Motorischen Aufgabe* zeigt ohne gleichzeitige Bearbeitung einer Zeigeaufgabe eine starke Belastung der motorischen Ressource sowie einen kognitiven Belastungsanteil (vgl. Abb. 5-28). Die motorische und kognitive Belastung steigen von der niedrigen zur hohen

Schwierigkeit der Zusatzaufgabe deutlich an. Es war folglich für die Versuchspersonen mit dem Auffinden der Aussparungen im Lochbrett ein erheblicher kognitiver Aufwand verbunden. Die geringen Anteile an visueller und auditiver Belastung rühren daher, dass die Geräusche bei der *Motorischen Aufgabe* teilweise als Positionsrückmeldung herangezogen wurden (auditiv) und manche Versuchspersonen, entgegen der ausdrücklichen Anweisung der Versuchsleitung, teilweise auf das Lochbrett zur Lokalisierung der Aussparungen gesehen haben (visuell).

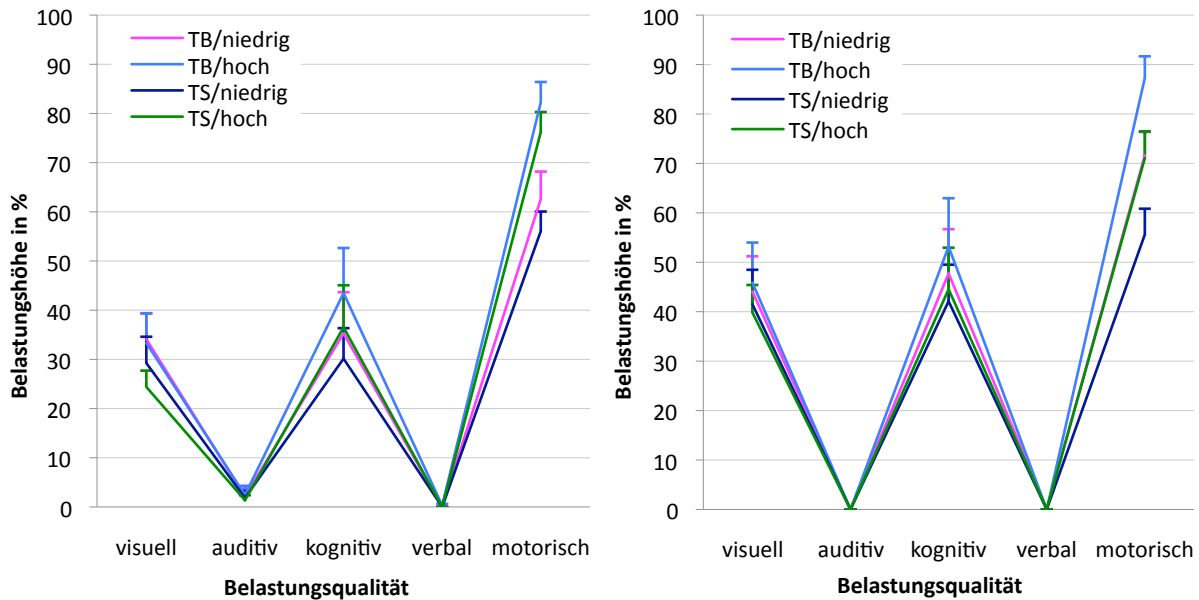


Abb. 5-29: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe *Motorische Aufgabe* bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe ST (linkes Diagramm) und MT (rechtes Diagramm).

Wurde die *Motorische Aufgabe* mit den Zeigeaufgaben kombiniert, stieg aufgrund der Zeigeaufgabe der Anteil der visuellen Belastung stark an (vgl. Abb. 5-29). Auditive und verbale Belastung treten wie bereits erwähnt nur in sehr geringem Maße auf. Die kognitive Belastung steigt erwartungsgemäß durch die Zeigeaufgabe weiter an. An dieser Stelle zeigt sich ein Einfluss des Bedienelements der Zeigeaufgabe in der kognitiven Belastung, der in der Zeigeaufgabe ST stärker ausgeprägt ist als in der Aufgabe MT. Die kognitive Belastung scheint daher mit dem Touchscreen in der Zeigeaufgabe niedriger zu sein als mit dem Trackball. Dieser Unterschied ist in ähnlicher Weise in der motorischen Belastung zu erkennen. Hier scheint sich der Unterschied von der Zeigeaufgabe ST hin zur Aufgabe MT zu intensivieren. Es ist an dieser Stelle mit steigender Komplexität der Zeigeaufgabe eine Fokussierung der Aufmerksamkeit bei der Erfüllung der Aufgaben hin zur *Motorischen Aufgabe* zu vermuten. Dies wird auch durch die stark ansteigende Anzahl von Auslassungsfehlern in der Zeigeaufgabe bei Trackballbedienung im Vergleich der Zeigeaufgaben ST und MT kombiniert mit der *Motorischen Aufgabe* unterstützt. Die Bedienung mit dem Trackball wird im Gegensatz zum Touchscreen deutlich stärker beeinflusst. Dies lässt auf Interaktionseffekte der motorischen Ressource zwischen der mit dem Trackball bedienten Zeigeaufgabe und der *Motorischen Aufgabe* schließen, die sich signifikant auf die Leistung in der Zeige- und auch in der Zusatzaufgabe auswirken. Die Verschiebung der Belastungsunterschiede der kognitiven und motorischen Ressource zwischen der Zeigeaufgabe ST und MT deutet auf eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die motorische Komponente der Gesamtaufgabe hin.

Durch die *Motorische Aufgabe* konnte ein erhebliches Maß an motorischer Belastung auf die Versuchsperson ausgeübt werden. Zugleich wurde die kognitive Belastungskomponente sichtbar beeinflusst. Diese Art der *Motorischen Aufgabe* eignete sich im Rahmen dieser Versuche sehr gut zur Steigerung der motorischen Belastung, die sich leicht durch die Gestaltung des Lochbretts und den Durchmesser des Griffels einstellen lässt.

5.4.2.3. Visuelle Suchaufgabe

Die Belastungsstruktur der *Visuellen Suchaufgabe* zeigt eine deutliche Belastungsspitze der visuellen Ressource. Gleichzeitig treten ohne zusätzliche Bearbeitung der Zeigeaufgabe kognitive und motorische Belastung auf (vgl. Abb. 5-30). Die motorische Belastung beruht auf der Ergebniseingabe der *Visuellen Suchaufgabe* mittels einer Tastatur. Da es an dieser Stelle keinen Unterschied in der Eingabe zwischen der leichten und der schweren Zusatzaufgabe gibt, ist die gleiche Höhe der motorischen Belastung in beiden Schwierigkeitsstufen erwartungskonform. Die kognitive Belastung der schweren Zusatzaufgabe liegt deutlich über der Belastung in der leichten Zusatzaufgabe. Dies ist auf die sehr hohe Schwierigkeit der schweren Zusatzaufgabe zurückzuführen.

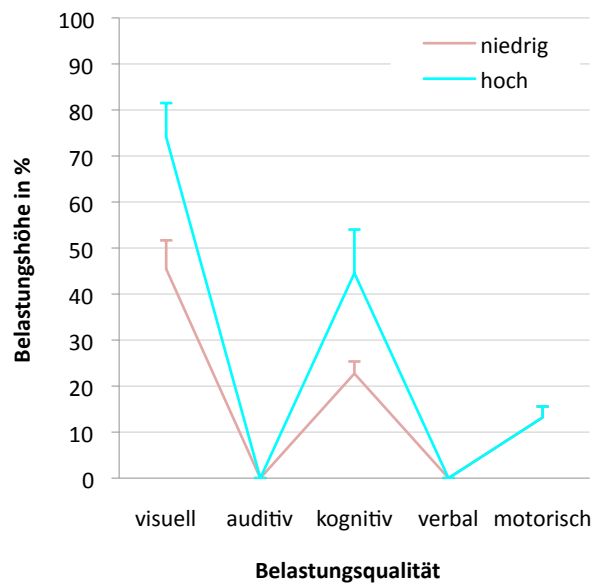


Abb. 5-30: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe. Am stärksten ausgeprägt sind die visuelle und die kognitive Belastungskomponente.

Die Auswirkung der Zeigeaufgabe auf die motorische Belastung ist bei kombinierten Aufgaben direkt an der Belastungsstruktur für die beiden Zeigeaufgaben ST und MT abzulesen (vgl. Abb. 5-31). Hier tritt unabhängig von der Zusatzaufgabe alleine ein Unterschied zwischen Touchscreen und Trackball auf. Die visuelle Belastung ist dagegen nahezu unabhängig von der Zeigeaufgabe ausgeprägt. Nur in der Zeigeaufgabe MT ist ein Unterschied für die einfache *visuelle Suchaufgabe* zwischen Touchscreen und Trackball zu erkennen. Die Auswirkungen auf die kognitive Belastungsqualität sind hauptsächlich abhängig von der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe. Auf Leistungsvorteile in Zeige- und Zusatzaufgabe, die sich auf die Wahl des Bediengeräts zurückführen

lassen, kann durch die Ausprägung der visuellen Belastungsqualität (vgl. Abb. 5-31) nicht geschlossen werden.

Die visuelle Zusatzaufgabe eignet sich gut zur Induzierung visueller Belastung. Die Höhe der visuellen Belastung ist abhängig von der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe, nicht aber von der Zeigeaufgabe und deren Bedienelement (vgl. Abb. 5-31). In der Zeigeaufgabe MT ist in der leichten Zusatzaufgabe ein Unterschied in der Belastungshöhe abhängig vom Bedienelement erkennbar, was auf Interaktionseffekte zwischen der leichten *Visuellen Suchaufgabe* und der Trackballbedienung in der Zeigeaufgabe MT hindeutet. In den anderen Kombinationen ist kein Unterschied erkennbar. Es ist daher zu vermuten, dass im Rahmen dieser Versuche bis auf eine Ausnahme keine Interaktionen zwischen der *Visuellen Suchaufgabe* und der Zeigeaufgabe aufgetreten sind. Die Schwierigkeitsstufen waren unter Umständen zu leicht bzw. zu schwer, wodurch möglicherweise Deckeneffekte auftraten, welche die Interaktionseffekte größtenteils überdeckten.

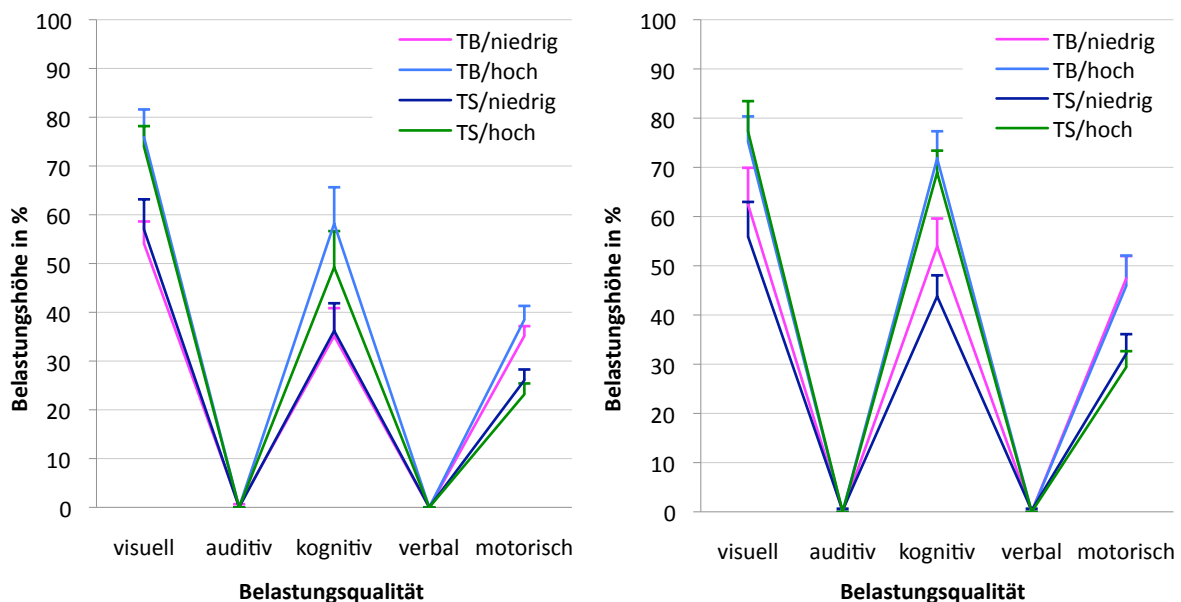


Abb. 5-31: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Visuelle Suchaufgabe bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe ST (linkes Diagramm) und MT (rechtes Diagramm).

5.4.3. Mehrdimensionale Zusatzaufgabe

Die mehrdimensionale Zusatzaufgabe wird durch die *Komplexe Aufgabe* abgebildet und setzt sich aus den Aufgabenteilen „Tracking“ und „Readback“ zusammen. Die Verwendung der Komplexen Zusatzaufgabe verfolgt das Ziel, in Kombination mit der Zeigeaufgabe den Belastungskontext im Cockpit möglichst realitätskonform nachzubilden. Betrachtet man alleine die Belastungsstruktur der beiden Teilaufgaben ohne zusätzliche Zeigeaufgabe, so ist besonders auffällig, dass sich für die beiden Schwierigkeitsstufen die Höhe der auditiven, kognitiven und verbalen Belastungsqualitäten, die durch die *Readback-Aufgabe* hervorgerufen werden, sichtlich unterscheiden (vgl. Abb. 5-32). Für die visuelle und motorische Belastung der *Tracking-Aufgabe* bleiben sie dagegen nahezu unverändert. Die Änderung der Schwierigkeit der *Tracking-Aufgabe* wurde von den Versuchspersonen folglich nicht durch eine höhere Belastung der visuellen und motorischen Ressource wahrgenommen. Im Gegensatz dazu führte die Erhöhung der Schwierigkeit der *Readback-Aufgabe*

zu einer starken Änderung der auditiven, kognitiven und verbalen Belastung. Die Änderung der Schwierigkeit der *Readback-Aufgabe* wurde also von den Versuchspersonen wesentlich belastender empfunden, wobei sie auf Schwierigkeitsunterschiede in der *Tracking-Aufgabe* relativ robust reagiert haben. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die Versuchspersonen durch ihre enorme Flugerfahrung ein hohes Maß an Expertise in *Tracking-Aufgaben* besitzen und die *Tracking-Aufgabe* im Versuch wesentlich realitätsnäher war als die *Readback-Aufgabe*. Die Versuchspersonen reagierten sehr viel sensibler auf Schwierigkeitsänderungen in der *Readback-Aufgabe* (vgl. Abb. 5-32).

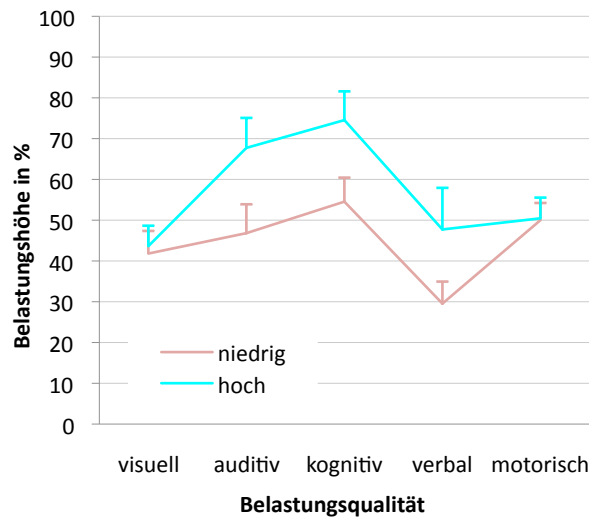


Abb. 5-32: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe ohne gleichzeitige Zeigeaufgabe. Am stärksten ausgeprägt sind die auditive und die kognitive Belastungskomponente. Das Belastungsniveau ist, verglichen mit den eindimensionalen Zusatzaufgaben, für alle Belastungsqualitäten hoch.

Die von der Schwierigkeit der *Readback-Aufgabe* abhängigen quantitativen Unterschiede der auditiven, kognitiven und verbalen Belastungsqualitäten sind auch bei gleichzeitiger Bearbeitung von Zeige- und Zusatzaufgabe erkennbar (vgl. Abb. 5-33). Kognitive und verbale Belastung sind nahezu unabhängig von Zeigeaufgabe und Bediengerät. Alleine in der auditiven Belastung zeigt sich für die schwere Zusatzaufgabe und die Zeigeaufgabe ST eine Abhängigkeit vom Bedienelement.

Visuelle und motorische Belastung sind abhängig vom Bedienelement der Zeigeaufgabe. Die *Tracking-Aufgabe* ist für Piloten eine in der Praxis vielgeübte Aufgabe. Aus diesem Grund wurden beim starken Ansteigen der kognitiven Belastung in der schwierigen *Readback-Aufgabe* die Aufmerksamkeitsressourcen von der *Tracking-Aufgabe* auf die *Readback-Aufgabe* übertragen. Die Belastung bleibt dabei unabhängig vom Bedienelement nahezu gleich. Dies entspricht den Ergebnissen der Signifikanztests. Dabei konnten signifikante Leistungsunterschiede in der schwierigen *Tracking-Aufgabe* für beide Zeigeaufgaben in Abhängigkeit des Bedienelements nachgewiesen werden. Es scheint daher der Versuchsperson bei Touchscreenbedienung möglich zu sein, ihre Aufmerksamkeit auf die *Readback-Aufgabe* zu fokussieren ohne dabei Leistungseinbußen in Zeige- oder *Tracking-Aufgabe* hinnehmen zu müssen (vgl. Abb. 5-33).

Die Betrachtung der Belastungsprofile der Komplexen Aufgabe unterstreicht die Verwendbarkeit des Touchscreens als primäres Bedienelement großflächiger Anzeigegeräte unter Zusatzbelastung. Die Belastungsstruktur der Kombination aus Zeige- und Zusatzaufgabe entspricht den in

Kap. 3.3.2 für die Anwendungsfälle erhobenen CWP's und zeichnet sich dadurch tatsächlich als repräsentative Zusatzaufgabe aus.

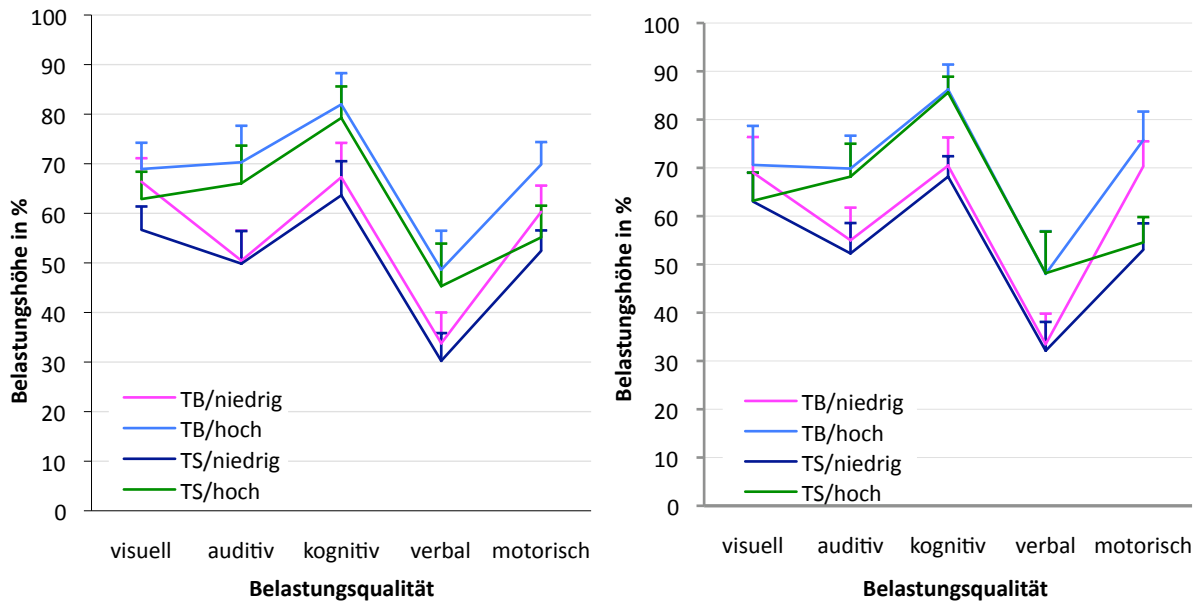


Abb. 5-33: Belastungsstruktur mit Mittelwertangabe und Standardfehler für die Bedienung der Zusatzaufgabe Komplexe Aufgabe bei gleichzeitiger Bearbeitung der Zeigeaufgabe ST (linkes Diagramm) und MT (rechtes Diagramm).

5.5. Nutzerzufriedenheit

Die Aspekte der Nutzerzufriedenheit wurden mit Hilfe unterschiedlicher Fragebögen evaluiert und stellen nach ISO 9241-11 (1999) die Freiheit von Beeinträchtigungen und die positive Einstellung gegenüber der Nutzung des Produkts sicher. Der hohe Erfahrungsgrad der befragten Experten lässt eine qualitativ hochwertige Einschätzung der Akzeptanz, der Zufriedenstellung, der Leistungsfähigkeit und der Leistungsbereitschaft der gesamten Nutzergruppe (Piloten militärischer Strahlflugzeuge) bei der Verwendung der Bedienelemente Trackball und Touchscreen in Cockpits hochagiler Flugzeuge erwarten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vier Nutzerzufriedenheits-Fragebögen dargestellt und im Kontext der Diskussion der Leistungsdaten interpretiert. Die Darstellung der erhobenen Werte findet in Diagrammen statt. Für jede Frage wird das arithmetische Mittel der Antworten der Stichprobe dargestellt. Die Versuchspersonen konnten sich bei jeder Frage der Antwort enthalten. Dies wurde in der Mittelwertbestimmung entsprechend berücksichtigt. Aus Übersichtsgründen wird in den Diagrammen auf den vollständigen Fragentext verzichtet und der Inhalt der Fragen jeweils durch ein Stichwort oder einen kurzen Text beschrieben. Jede Frage wird in den Diagrammen durch eine Nummer eindeutig gekennzeichnet. Der vollständige Fragentext kann in Anhang H eingesehen werden.

5.5.1. Standardisierte Fragebögen

5.5.1.1. ISO 9241-9

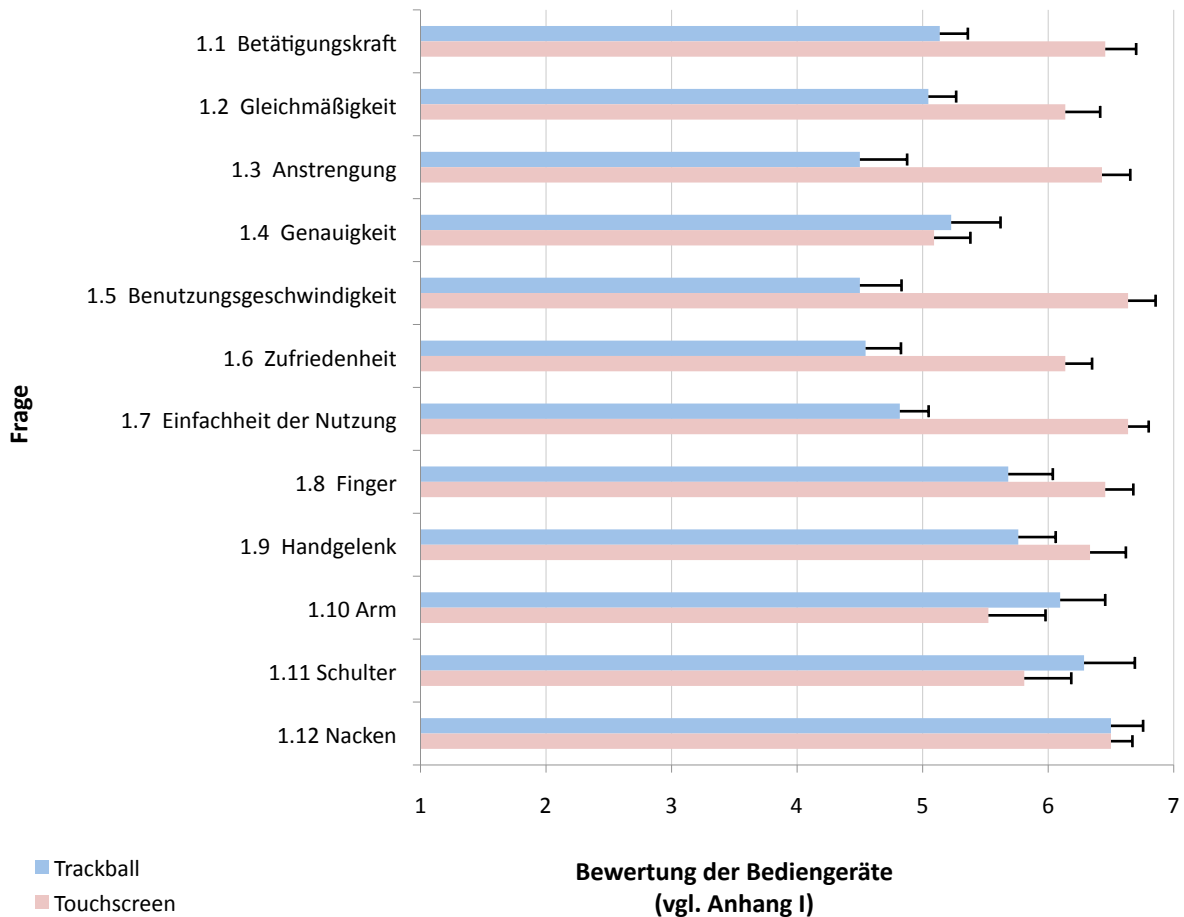


Abb. 5-34: Darstellung der Mittelwerte mit Standardfehler der Befragung zur Bestimmung der Nutzerzufriedenheit von Touchscreen und Trackball nach ISO 9241-9 (2002). Die Likert-Skala reicht von eins bis sieben, wobei sieben den besten und eins den schlechtesten Zufriedenheitswert angibt.

Der Fragebogen zur Bestimmung der Nutzerzufriedenheit teilt sich in die Bereiche „Allgemeine Anzeichen“ (Fragen 1.1 bis 1.7) und „Ermüdungsanzeichen“ (Fragen 1.8 bis 1.12) auf. In den allgemeinen Anzeichen ist, bis auf den Aspekt Genauigkeit, in allen Belangen eine eindeutig höhere Zufriedenheit mit dem Bedienelement Touchscreen zu erkennen. Dies zeigt sich vor allem in der Benutzungsgeschwindigkeit und der Einfachheit der Nutzung. Diese Ergebnisse sind hypothesenkonform und entsprechen den in den Versuchen nachgewiesenen Leistungsunterschieden in Zeige- und Zusatzaufgabe. Die Genauigkeit der beiden Bedienelemente wurde von den Befragten als annähernd gleich eingeschätzt und entspricht dem Vergleich der Fehlerrate von Trackball und Touchscreen in den Zeigeaufgaben ST und MT (vgl. 5.2.3 & 5.3.3).

Die Ermüdungsanzeichen sind allgemein für beide Bedienelemente sehr gering. Die Unterschiede sind charakteristisch und werden eindeutig von der Haltung des Hand-Arm-Systems und der Bediendynamik bestimmt. So zeigt sich eine höhere Belastung der Finger und des Handgelenks bei Trackballbedienung sowie eine höhere Belastung des Arms und der Schulter bei Touchscreenbe-

dienung. Ermüdungserscheinungen des Nackens traten nur in sehr geringem Maße und unabhängig vom Bedienelement auf.

5.5.1.2. PSSUQ

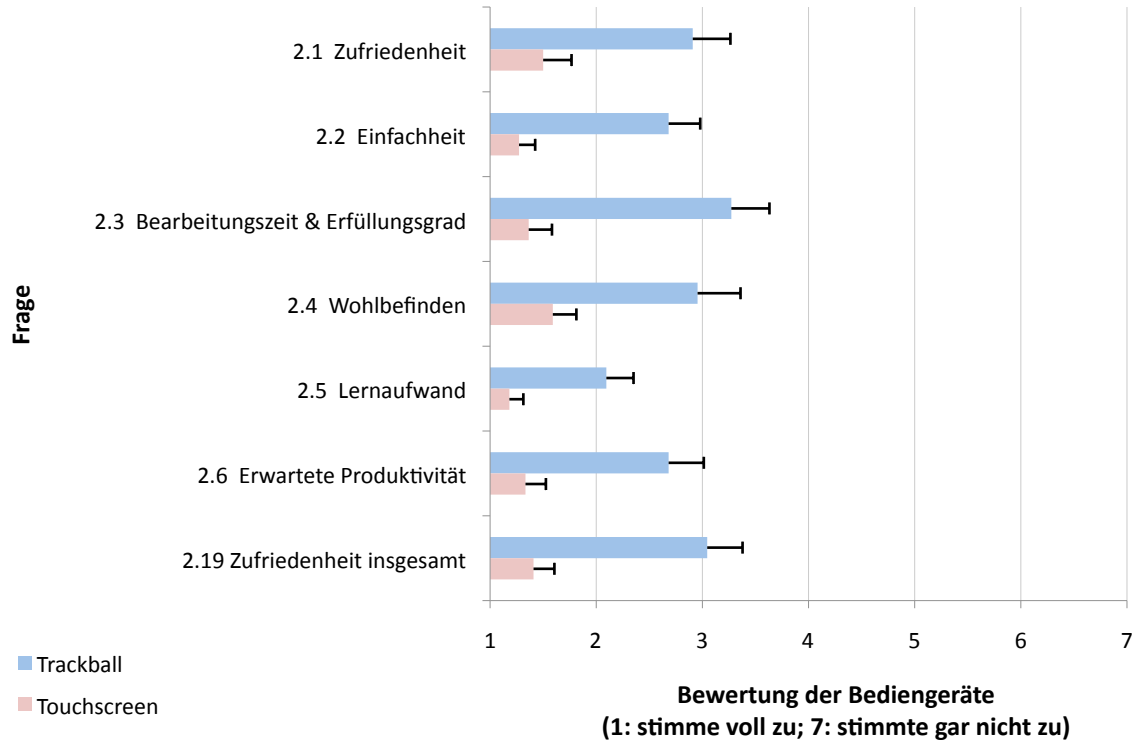


Abb. 5-35: Darstellung der Mittelwerte mit Standardfehler der PSSUQ-Befragung zur Bestimmung der Nutzerzufriedenheit von Touchscreen und Trackball. Die Likert-Skala reicht von eins bis sieben, wobei eins den besten und sieben den schlechtesten Zufriedenheitswert angibt.

Der Fragebogen PSSUQ wurde jeweils im Anschluss an die Bearbeitung des Fragebogens ISO 9241-9 erhoben. Der Fragebogen besteht aus sieben Fragen, die aus einer Anzahl von 19 Fragen, die der PSSUQ bereitstellt, aufgrund ihrer inhaltlichen Relevanz ausgewählt wurden. Neben den Elementen Zufriedenheit, Einfachheit und Bearbeitungszeit, die ebenfalls im Fragebogen ISO 9241-9 erhoben wurden, berücksichtigt der PSSUQ Wohlbefinden, Lernaufwand und die erwartete Produktivität mit dem jeweiligen Bedienelement. Zusammenfassend lässt sich wiederum ein klarer Vorteil des Touchscreens gegenüber dem Trackball in allen Kategorien feststellen und die Übereinstimmung mit den Ergebnissen des ISO 9241-9 Fragebogens ist gegeben. Die befragten Experten erwarten für die Interaktion mit den Touchscreen eine höhere Produktivität als mit dem Trackball. Dies entspricht den Ergebnissen der Leistungserhebung und hat aufgrund des Expertentums der Stichprobe besondere Relevanz für den gesamten Nutzerkreis der Piloten bzw. für eine spätere Anwendung des Touchscreens in hochagilen Flugzeugen. Der Lernaufwand wird für beide Bedienelemente als recht niedrig eingestuft, wobei sich jedoch wiederum ein deutlicher Vorteil des Touchscreens zeigt.

5.5.1.3. SUS

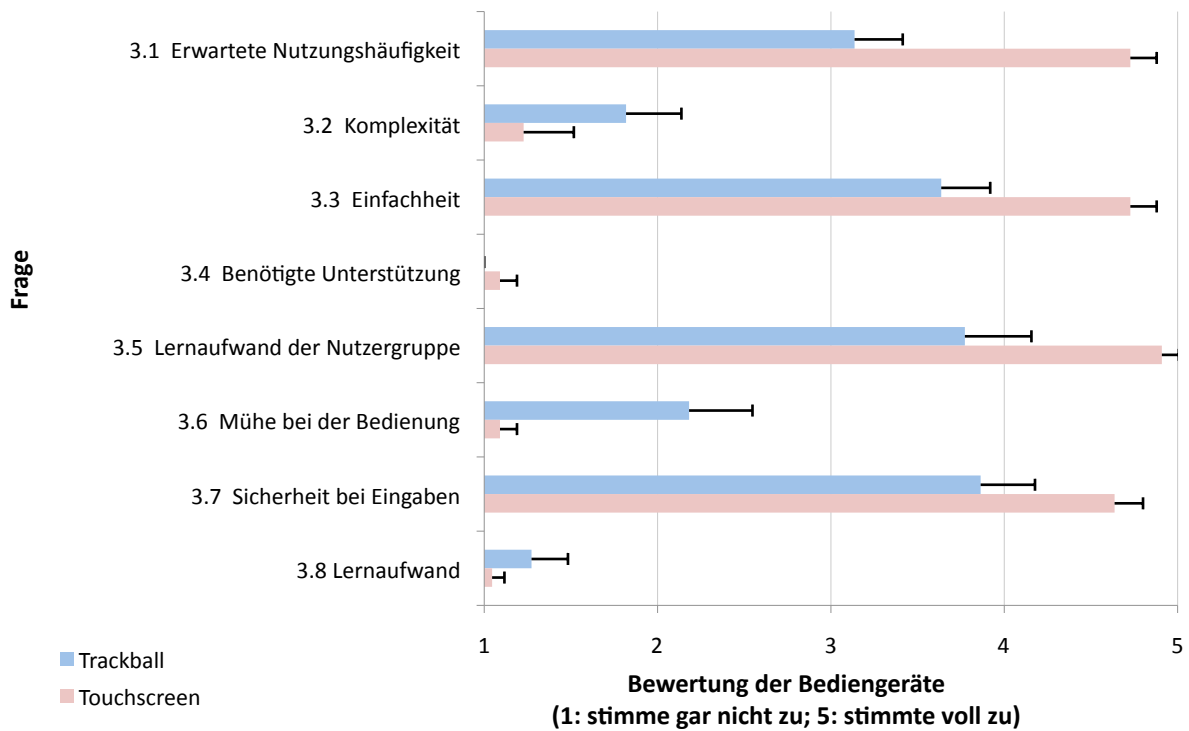


Abb. 5-36: Darstellung der Mittelwerte mit Standardfehler der SUS-Befragung zur Bestimmung der Nutzerzufriedenheit von Touchscreen und Trackball. Die Wertigkeit der Likert-Skala ist abhängig von der Formulierung der Fragen. Für alle ungeraden Fragen ist fünf der beste, für alle geraden Fragen eins der beste Wert (vgl. Anhang H).

Als dritter Usability-Fragebogen zur Erhebung der verschiedenen Aspekte der Nutzerzufriedenheit wurde der SUS Fragebogen eingesetzt. Er berücksichtigt Frageelementen, die in den beiden anderen Fragebögen in ähnlicher Weise vorkommen (3.3, 3.4, 3.5, 3.7 und 3.8), aber auch die Aspekte Nutzungshäufigkeit, Komplexität und Mühe bei der Bedienung (3.1, 3.2 und 3.6). Zugleich lässt sich aus der Gesamtheit der erhobenen Daten jeweils ein SUS-Wert für die beiden Bedienelemente als Maß für die Nutzerzufriedenheit bestimmen. Dieser Wert beträgt für den Touchscreen 84,2 % und für den Trackball 75,4 %.

Der SUS beinhaltet Fragen die sich auf die zu erwartende Nutzungshäufigkeit und den Lernaufwand der Nutzergruppe beziehen. Die Ergebnisse der SUS Befragung lassen diesbezüglich einen klaren Vorteil des Touchscreens gegenüber dem Trackball erwarten (vgl. Abb. 5-36). Die Nutzungshäufigkeit und der Aspekt Lernaufwand der Nutzergruppe sprechen deutlich für die Verwendung des Touchscreens als primäres Bedienelement. Gleiches gilt für die Einschätzung der Komplexität und der Mühe bei der Bedienung der beiden Bedienelemente. Der Lernaufwand der Versuchsteilnehmer für den Zweck der Bearbeitung der Zeigeaufgaben wurde für Trackball und Touchscreen gering eingestuft. Die Befragten sind zugleich der Meinung nicht die Hilfe einer technisch erfahrenen Person für den Umgang mit den Bedienelementen zu benötigen. Die Einfachheit und Sicherheit der Bedienung wurde für die Touchscreen-Interaktion deutlich besser bewertet als für den Trackball (vgl. Abb. 5-36).

5.5.2. PanDis-Usability Fragebogen

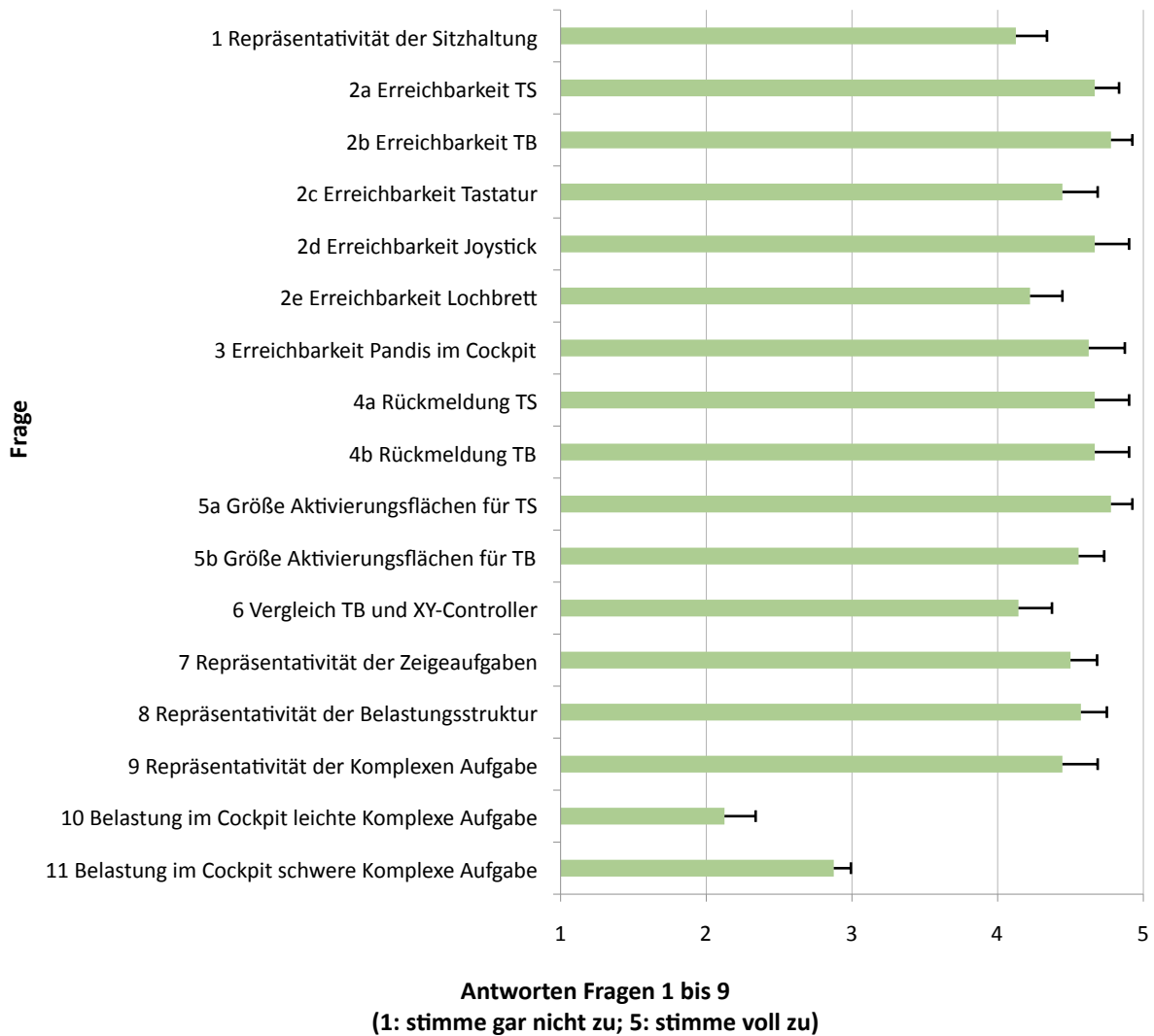


Abb. 5-37: Darstellung der Mittelwerte mit Standardfehler der PanDis-Usability-Befragung zur Bestimmung der Nutzerzufriedenheit von Touchscreen und Trackball (vgl. Anhang H). Die Likert-Skala der Frageitems 1 bis 9 reicht von eins bis fünf, wobei fünf den besten und eins den schlechtesten Zufriedenheitswert angibt. Die Fragen 10 und 11 vergleichen den Grad der Belastung im Versuch mit Belastungsstufen im Cockpit von niedrig bis sehr hoch in einer dreistufigen Likert-Skala.

Der PanDis-Usability-Fragebogen dient, verglichen mit den standardisierten Fragebögen in Kap. 5.5.1, dem Vergleich und der Bewertung der beiden Bedienelemente und berücksichtigt zugleich Aspekte der Erreichbarkeit der Bediengeräte, der Rückmeldung in den Zeigeaufgaben, die Repräsentativität der anthropometrischen Auslegung der Versuchsumgebung und die Realitätsnähe der Zeige- und Zusatzaufgaben. Mit Hilfe dieses Fragebogens sollte zudem die Validität der Versuchsumgebung wie auch der Versuchsinhalte anhand der subjektiven Einschätzung der befragten Experten bewertet werden.

Die Ergebnisse der Befragung sind in Abb. 5-37 zusammengefasst. Die in den Zeige- und Zusatzaufgaben verwendeten Bedienelemente sind demnach ohne das Einnehmen einer Zwangshaltung erreichbar (Frage 2a bis 2e). Die Sitzhaltung im Versuchsaufbau entspricht der Haltung des Pilo-

ten im Cockpit des Eurofighters. Da in dieser Frage speziell die Sitzhaltung des Piloten im Eurofighter als Referenz dienen sollte, wurde diese Frage (Frage 1) nur von Versuchspersonen beantwortet, die Erfahrung auf diesem Flugzeugmuster besitzen. Aus dem gleichen Grund wurde auch die Frage nach der Erreichbarkeit des Großflächendisplays (Frage 3) nur von Versuchspersonen mit Eurofighter-Erfahrung beantwortet. Die Art der Rückmeldung und die Größe der Aktivierungsflächen wurden von den Versuchspersonen als sehr gut beurteilt. Es ist also davon auszugehen, dass die Größe der Aktivierungsflächen auch nach der subjektiven Meinung der Versuchspersonen hinsichtlich Bedienzeit und -sicherheit ausreichend für Touchscreen- und Trackballeingaben in hochagilen Flugzeugen ist. Aufgrund des Ergebnisses der Frage 6 ist nach Einschätzung der befragten Experten durch die Verwendung eines Trackballs, verglichen mit dem XY-Controller des Eurofighters eine Leistungssteigerung bei der Interaktion mit den Multifunktionsdisplays zu erwarten. Die Auswahl des Trackballs als leistungsstärksten Vertreters der indirekten CCE für die Verwendung zur Interaktion mit Großflächendisplays in hochagilen Flugzeugen nach Boff & Lincoln (1983) wird dadurch auch durch die subjektive Einschätzung der befragten Experten bestätigt. Gleichzeitig wird die Auslegung der Zeigeaufgaben, der Belastungsstruktur und die Gestaltung der komplexen Aufgabe als ausreichend repräsentativ bzw. realitätsnah bewertet (Fragen 7 bis 11).

5.6. Hypothesenprüfung

In Kap. 2 wurde auf Grundlage des menschlichen Informationsverarbeitungsmodells nach Wickens et al. (2004) und des Verhaltensmodells nach Rasmussen (1983) eine Leistungsdifferenz zwischen Touchscreen und Trackball-Bedienung prognostiziert. Darauf aufbauend wurden Hypothesen für unterschiedliche Rahmenbedingungen der Interaktion formuliert, die im Rahmen einer Usability-Untersuchung überprüft wurden. Die Hypothesenprüfung basiert auf den in den Kap. 5.2 bis Kap. 5.5 zusammengefassten Untersuchungsergebnissen.

H1 Die Bedienleistung bei Eingabehandlungen (Zeigeaufgaben) auf Großflächendisplays ohne Zusatzbelastung ist mit dem Touchscreen höher als mit dem Trackball.

Die Bedienzeit bei der Anwahl einzelner Ziele auf Großflächendisplays ist mit dem Touchscreen deutlich niedriger als mit dem Trackball. Es ist kein Genauigkeitsunterschied bei Trackball- und Touchscreenbedienung zu erwarten. Die beiden Zeigeaufgaben wurden ohne Zusatzaufgabe jeweils vollständig bearbeitet. Die Unterschiede in der Bedienleistung von Trackball und Touchscreen in den beiden Zeigeaufgaben ST und MT ohne gleichzeitige Bearbeitung einer Zusatzaufgabe werden daher alleine durch die Variable Bedienzeit beeinflusst (vgl. Kap. 5.2.1.1 & 5.3.1.1). Die Hypothese *H1* kann daher im Rahmen dieser Usability-Untersuchung bestätigt werden.

H2 Der Performanzvorteil der Touchscreenbedienung bei Zeigeaufgaben auf Großflächendisplays gegenüber der Trackball-Bedienung bleibt bei einer Erhöhung der Belastung bestehen.

Der Vorteil des Touchscreens in der Bedienzeit bleibt für die Anwahl einzelner Ziele auf dem Großflächendisplay bei einer Erhöhung der Belastungssituation durch das gleichzeitige Auftreten von Zusatzaufgaben bestehen und weitet sich für die Zusatzbelastung durch die Motorische und Komplexe Aufgabe in erheblichem Maße auf die Leistungskomponente Auslassungsfehler aus. Dies

gilt in unterschiedlicher quantitativer Ausprägung für die beiden Zeigeaufgaben ST und MT (vgl. Kap. 5.2.1 & 5.3.1). Die Hypothese *H2* kann daher im Rahmen dieser Usability-Untersuchung bestätigt werden.

H3 (a), (b) Die Beständigkeit des Vorteils des Touchscreens in der Bedienleistung der Zeigeaufgabe gegenüber dem Trackball gilt für (a) standardisierte und (b) für die in hochagilen Flugzeugen auftretenden Eingabehandlungen und Zusatzaufgaben.

(a) Die Beständigkeit des Performanzvorteils des Touchscreens hinsichtlich der Bedienzeit in der Zeigeaufgabe gilt für die Versuchsvariationen der standardisierten Zeigeaufgabe *Single Targets* und der eindimensionalen standardisierten Zusatzaufgaben *Sternberg*, *Motorische* und *Visuelle Aufgabe* sowie der mehrdimensionalen realistischen Zusatzaufgabe *Komplexe Aufgabe*. Betrachtet man die weiteren Leistungsmaße zeigt sich alleine in der Fehlerrate der Zeigeaufgabe ST, kombiniert mit der schwierigen *Visuellen Suchaufgabe* ein signifikanter Vorteil des Trackballs. Die Bedienzeit und Vollständigkeit der Bearbeitung der Zeigeaufgabe sind in dieser Kombination bei Touchscreenbedienung jedoch deutlich besser, so dass hier insgesamt nicht von einem Leistungsvorteil des Trackballs gesprochen werden kann. Signifikante Leistungsunterschiede der beiden Eingabeelemente in der Variable Auslassungsfehler wurden bei der Bearbeitung der Zusatzaufgaben *Motorische* und *Komplexe Aufgabe* nachgewiesen. Hier zeigt sich ebenfalls ein klarer Vorteil der Touchscreenbedienung (vgl. Kap. 5.2.1.2 bis 5.2.1.4 & Kap. 5.3.1.2 bis 5.3.1.4). Der Teil (a) der Hypothese *H3* wird daher im Kontext dieser Untersuchung bestätigt.

(b) Die Beständigkeit des Leistungsvorteils in der Zeigeaufgabe gilt für die Versuchsvariationen der realitätsnahen Zeigeaufgabe *Multiple & Moving Targets* und der eindimensionalen standardisierten Zusatzaufgaben *Sternberg*, *Motorische* und *Visuelle Aufgabe* und der mehrdimensionalen realistischen Zusatzaufgabe *Komplexe Aufgabe*. Es treten in allen Kombinationen aus Zeige- und Zusatzaufgaben signifikante Leistungsvorteile bei Touchscreenbedienung in den Variablen Bedienzeit und Auslassungsfehler auf. Der Unterschied der Fehlerrate der beiden Bedienelemente ist bis auf die Kombination aus der Zeigeaufgabe und der schwierigen *Sternberg Aufgabe* nicht signifikant. Hier treten bei Trackballbedienung signifikant weniger Fehleingaben als bei Touchscreenbedienung auf. Da die Leistung in den beiden anderen Leistungsvariablen einen signifikanten Vorteil des Touchscreens bestätigt, kann an dieser Stelle insgesamt nicht von einem Leistungsvorteil des Trackballs ausgegangen werden (vgl. Kap. 5.2.1.5 & 5.3.1.5). Im Kontext dieser Untersuchung wird daher ebenfalls der Teil (b) der Hypothese *H3* bestätigt.

H4 Der Performanzvorteil des Touchscreens bei Eingabehandlungen nimmt gegenüber dem Trackball bei steigender Belastung des Piloten zu.

Eine Steigerung der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe hat in Kombination mit den beiden Zeigeaufgaben ST und MT stets zu einem Anwachsen der Differenz der Bedienzeiten und der Auslassungsfehlerrate von Touchscreen und Trackball geführt. Zugleich wurde ein wachsender Leistungsvorteil des Touchscreens sichtbar. Für die Fehlerrate kann eine solche Tendenz weder für den Trackball noch für den Touchscreen festgestellt werden (vgl. Kap. 5.2.1, 5.3.1 & 5.4). Die Hypothese *H4* ist zu bestätigen.

H5 *Werden für Eingabehandlungen und die Bearbeitung von Zusatzaufgaben dieselben Ressourcen benötigt, so führt der Touchscreen zu einer geringeren Belastung der betroffenen Ressourcen als der Trackball und dadurch zu einer positiven Beeinflussung der Leistung in Zeige- und Zusatzaufgabe.*

Die Verwendung des Touchscreens in der Zeigeaufgabe hat sich, verglichen mit der Trackballbedienung, in den Zusatzaufgaben schwere *Visuelle Suchaufgabe* sowie leichte und schwere *Motorische* und *Komplexe Aufgabe* positiv auf die Leistung in der Zusatzaufgabe ausgewirkt (vgl. Kap. 5.2.1, 5.2.2, 5.3.1, 5.3.2 & 5.4). Dies ist auf Interferenzen der Trackballbedienung und der Bearbeitung der Zusatzaufgaben hinsichtlich motorischer, visueller und kognitiver Ressourcen zurückzuführen. Die Hypothese *H5* kann also bestätigt werden.

H6 *Die Interaktion mit dem Touchscreen ist zufriedenstellender als mit dem Trackball.*

Die Ergebnisse der Fragebogenerhebung zur Nutzerzufriedenheit der beiden Interaktionsalternativen zeigen eine sehr positive Bewertung beider Eingabeelemente, zugleich jedoch eine klare Bevorzugung der Interaktion mit dem Touchscreen (vgl. Kap. 5.5). Die Hypothese *H6* kann daher im Rahmen dieser Untersuchung bestätigt werden.

ZH *Der Touchscreen weist deutliche Leistungsvorteile gegenüber anderen Bedienelementen auf und bietet sich daher als primäres Bedienelement für die Interaktion mit großflächigen Displays in hochagilen militärischen Flugzeugen an.*

Wird der Touchscreen als primäres Bedienelement des großflächigen Multifunktionsdisplays verwendet, so wirkt sich dies, verglichen mit dem Trackball, besonders leistungsfördernd auf die vom Piloten zu bearbeitenden Aufgaben im Cockpit aus. Die Zentralhypothese *ZH* kann auf Grundlage der Überprüfung der Hypothesen *H1* bis *H6* im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Cockpit moderner Flugzeuge ist eine komplexe Arbeitsumgebung mit vielschichtigen Aufgabengebieten und Belastungskomponenten. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass durch intensive Arbeiten im Bereich der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung durch Änderungsmaßnahmen der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Flugzeugcockpit erhebliche Verbesserungen der Leistungsfähigkeit wie auch eine Reduzierung der Belastung des Operateurs erzielt werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Bedienleistung von Touchscreen und Trackball für Eingaben auf einem Großflächendisplay für die Anwendung in hochagilen Flugzeugcockpits untersucht. Ziel dieser Untersuchung war die Erhebung repräsentativer Leistungsmaße für die Auswahl von leistungsstarken Bedienelementen für Großflächendisplays. Zentraler Punkt der Untersuchung war die Quantifizierung der Bedienleistung der betrachteten Eingabelemente für die im Flugzeugcockpit herrschende Aufgaben- und Belastungsstruktur. Um die Kontextvalidität der Versuchsergebnisse sicherzustellen, wurde durch das Versuchsdesign der Handlungskontext im Cockpit berücksichtigt. Die Interaktion mit dem Großflächendisplay wurde dabei durch Zeigeaufgaben abgebildet. Die variable Belastungssituation wurde durch verschiedenartige Zusatzaufgaben repräsentiert, die in den Versuchsdurchgängen von den Versuchspersonen simultan mit den Zeigeaufgaben bearbeitet werden mussten. Die Inhalte der unterschiedlichen Aufgaben wurden in einer umfassenden Aufgaben- und Belastungsanalyse am Beispiel eines konkreten Flugzeugmusters, dem Eurofighter ermittelt. Die Flugzeugdynamik und deren Auswirkungen auf die Eingabeleistung des Piloten wurden durch die Analyse vorliegender Flugdaten berücksichtigt. Die anthropometrischen Rahmenbedingungen für die Durchführung der Untersuchung stammen aus einer geometrischen Analyse des Flugzeugmusters. Dabei wurde anhand vorliegender Konstruktionszeichnungen eine Einbauvariante des Großflächendisplays abgeleitet, die den grundlegenden Sicherheitsbestimmungen des Flugzeugmusters entspricht. Die Datenerhebung fand ausschließlich mit fliegendem Personal unterschiedlicher Erfahrungsstufen statt, wobei ein Großteil der Versuchspersonen Testpiloten militärischer Flugzeugmuster sind und daher Expertenstatus besitzen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind grundsätzlich auch auf weitere Flugzeugmuster übertragbar. Es treten jedoch durch die Versuchsgestaltung gewisse Einschränkungen auf, die bei der Verwendung dieser Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Diese Einschränkungen zeigten sich im Rahmen dieser Untersuchung zum Teil erst bei der Auswertung der Versuchsdaten oder konnten durch die zeitlichen Rahmenbedingungen bei der Versuchsdurchführung nicht berücksichtigt werden. Sie sind im Folgenden zusammengefasst.

Die Zeige- und Zusatzaufgaben wurden mit dem Ziel ausgewählt, eine möglichst repräsentative Aufgabenumgebung zu schaffen. Diese Umgebung kann jedoch nur einen begrenzten Ausschnitt der Aufgaben des Piloten und der Belastungssituation wiedergeben. Dies ist bei der Verwendung der erhobenen Leistungsdaten zu berücksichtigen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse der *Sternberg Aufgabe* wurde deutlich, dass die kognitive Belastung durch die eindimensionale kognitive Zusatzaufgabe hinsichtlich der Repräsentativität

des Belastungskontextes zu gering ist. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse der komplexen Aufgabe ist mit gewissen Interferenzeffekten zwischen Zeige- und Zusatzaufgabe bei Belastung der kognitiven Ressource zu rechnen. Die kognitive Belastung durch die *Sternberg Aufgabe* kann daher im Rahmen dieser Untersuchung insgesamt als zu gering eingestuft werden. Dies gilt für beide Schwierigkeitsstufen der Aufgabe.

Die Belastungsstruktur wurde in den Usability-Versuchen auf Grundlage der Pilotenbefragung an die Belastung im Cockpit angepasst. Um hier tatsächlich realistische Belastungszustände der Versuchspersonen berücksichtigen zu können, müssten die Untersuchungsdaten im Flugversuch erhoben werden.

Die Beeinträchtigung des Hand-Arm-Systems bei Touchscreen-Eingaben wurde zusammen mit einer frequenzanalytischen Betrachtung der Cockpit-Beschleunigungen im Eurofighter untersucht, deren Ergebnisse in Gesprächen mit Testpiloten verifiziert wurden. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Analyse fand die Durchführung der Studie in einem nicht bewegten Versuchsaufbau statt. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Flugdaten konnte hier nicht das gesamte Missionsspektrum des Flugzeuges und alle möglichen Wetterbedingungen berücksichtigt werden. Die vorliegenden Flugdaten decken aber einen repräsentativen Missionsteil des Flugzeuges ab. Dennoch müsste auch hier die Gültigkeit der Leistungsdaten des Touchscreens und des Trackballs in umfangreichen Flugversuchen verifiziert werden.

Untersuchungsmodell der Studie war das Flugzeugmuster Eurofighter. Die Ergebnisse der Untersuchung beziehen sich deshalb in erster Linie auf die Interaktion mit Großflächendisplays in diesem Flugzeugcockpit. Damit die Ergebnisse der Studie auch auf andere Flugzeugmuster übertragbar sind, wurde auf eine umfangreiche Dokumentation der vom Flugzeugmuster Eurofighter beeinflussten Anforderungen besonderer Wert gelegt. So sind die Ergebnisse im jeweiligen Nutzungskontext zu interpretieren und auf unterschiedliche Anwendungen übertragbar.

Die Leistungsunterschiede zwischen den betrachteten Bedienelementen Touchscreen und Trackball sind in den unterschiedlichen Kombinationen aus Zeige- und Zusatzaufgaben erwartungskonform. Die Verwendung des Touchscreens führt, verglichen mit dem Trackball, zu erheblich kürzeren Bedienzeiten bei einem gleichzeitig sehr hohen Erfüllungsgrad der Zeigeaufgabe. Auf Grundlage der Versuchsergebnisse ist im Rahmen dieser Untersuchung kein Genauigkeitsunterschieden zwischen den beiden Bedienelementen zu erwarten.

Zeige- und Zusatzaufgaben bzw. der Belastungskontext wurde von den Piloten als sehr repräsentativ bewertet. Obwohl die Versuche in einer unbewegten Laborumgebung stattfanden, wurde der Handlungskontext von den Experten als sehr realistisch bewertet. Durch die Aufgabenstruktur wurde laut den Versuchspersonen ein leichter bis sehr schwieriger Belastungskontext im Cockpit nachgebildet. Das Ziel eine möglichst realitätsgetreue Versuchsumgebung zu schaffen, wurde daher nach Meinung der befragten Piloten erfolgreich erreicht.

Die Bedienfeldgrößen der Ziele in den Zeigeaufgaben wurden von den Versuchspersonen als ausreichend groß bewertet, eine Aktivierungsfläche von 17 mm Kantenlänge der quadratischen Flächen und die gewählte Art und Anzeige der Rückmeldung sind von den Piloten sehr positiv bewertet worden. Die Ergebnisse von Rühmann (1983) und Eichinger et al. (2008) können daher auch durch diese Studie unterstützt werden.

Die Ergebnisse dieser Usability-Untersuchung zeigen deutliche Leistungsdifferenzen in Zeige- und Zusatzaufgaben in Abhängigkeit des in der Zeigeaufgabe verwendeten Bedienelements. Es ist in

den meisten Fällen ein eindeutiger Leistungsvorteil des Touchscreens erwartungskonform für die Kombinationen aus Zeige- und Zusatzaufgaben erkennbar. Treten bei der gleichzeitigen Bearbeitung von Zeige- und Zusatzaufgabe Interferenzen auf, so führt dies bei der Verwendung des Trackballs zu deutlicheren Leistungseinbußen als beim Touchscreen. Der Touchscreen hat folglich einen erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Operateurs bei der Ausführung der Zeige- und Zusatzaufgabe. Der Touchscreen kann also im Rahmen dieser Untersuchung für die Verwendung als primäres Bedienelement für Großflächendisplays in den Cockpits hochagiler Flugzeuge empfohlen werden.

Ein erheblicher Anteil der Eingabefehler mit dem Touchscreen ist darauf zurückzuführen, dass die Versuchspersonen zwar den Zeigefinger korrekt auf dem Ziel positionierten, jedoch während dem Abheben des Zeigefingers ein weiterer Finger bzw. ein Teil der Hand in das Infrarotlichtgitter des Touchscreens ragte. Dies führte dann zu einem ungewollten Verschieben des Cursors. Wurde der Finger anschließend vom Display abgehoben fand die Eingabe nicht auf dem Ziel, sondern an einer anderen Stelle auf dem Display statt. Diese Problematik ist durch die Funktionsweise des IR-Touchscreens und die Tatsache, dass sich das Raster etwas vor der eigentlichen Displayfläche befindet, bedingt. Die in Kap. 2.3.1 vorgestellte und auf Rückprojektion basierende Touchscreen-Technologie „Frustrated Total Internal Reflection“ (FTIR) führt, wie auch der IR-Touchscreen zu keiner Beeinträchtigung der Qualität der Informationsdarstellung, da sich hier ebenfalls keine Bauteile auf der Bildschirmoberfläche befinden. Darüber hinaus tritt hier die Problematik der ungewollten Cursor-Verschiebung wie beim Infrarottouchscreen nicht auf. Auf Grundlage der in dieser Untersuchung gewonnen Erkenntnisse ist es daher empfehlenswert, gerade im Hinblick auf die mögliche Verwendung der HOLDIS Display Technologie, Rückprojektionsanzeigen im Cockpit mit einem Touchscreen mit FTIR-Technologie zu kombinieren. Hierfür ist nochmals eine deutliche Leistungszunahme zu erwarten, die jedoch in weiteren Untersuchungen belegt werden müsste.

Der Trackball wird von den Piloten deutlich besser bewertet als das derzeit im Eurofighter befindliche indirekte CCE, der XY-Controller. Es ist daher neben der Empfehlung, den Touchscreen als primäres Bedienelement zu verwenden, eine Kombination aus Touchscreen und Trackball ratsam. Dadurch wird ein leistungsstarkes und redundantes Bedienkonzept erreicht, das zudem alle Kriterien des HOTAS bzw. VTAS Konzepts erfüllt.

Der nächste geplante Teil der Untersuchung der Bedienleistung von Touchscreen und Trackball für Großflächendisplays ist das Aufweiten des Aufgabenspektrums von Zeige- und Zusatzaufgaben. Darüber hinaus wäre es sinnvoll die eindimensionale kognitive Belastungskomponente *Sternberg Aufgabe* durch eine entsprechend angepasste Zusatzaufgabe zu ersetzen und die betroffenen Versuchsdurchgänge zu wiederholen. Im letzten Schritt ist die Überprüfung der Ergebnisse dieser Studie im Flugversuch notwendig. Nur dann kann die tatsächliche Bedienleistung unterschiedlicher Eingabegerätvarianten festgestellt werden.

Literaturverzeichnis

Literatur

- Adam, E. C. (1991). Tactical Cockpits - The Coming Revolution. *Telesystems Conference*. IEEE.
- Adam, E. C. (1994). Tactical Cockpits: flat panels imperatives. In D. G. Hopper (Hrsg.), *Cockpit Displays - Proceedings of SPIE*, 2219.
- Adam, E. C., Martin, W., Reinecke, M., & Seifert, R. (1986). Improved Guidance and Control Automation at the Man-Machine Interface. In W. Hollister (Hrsg.), *AGARD , AR-228*.
- Albery, W. B., Ward, S. L., & Gill, R. T. (1985). *Effect of acceleration stress on human workload*. Aerospace Medical Research Laboratory.
- Avery, L. W. (1999). *U.S. Army Weapons Systems Human-Computer Interface Style Guide*. The Pacific Northwest National Laboratory, Richland.
- Baddeley, A. (2003). Working Memory: Looking back and looking forward. In *Nature Reviews: Neuroscience*.
- Becker, S., Neujahr, H., Sandl, P., & Babst, U. (2008). Holographisches Display - HOLDIS. In M. Grandt, & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Bonn: DGLR.
- Benko, H., Wilson, A. D., & Baudisch, P. (2006). Precise Selection Techniques for Multi-Touch Screens. In R. Grinter (Hrsg.), *Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: Association for Computing Machinery.
- Boff, K., & Lincoln, J. (1983). *Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance*. New York: John Wiley and Sons.
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation*. Berlin: Springer Verlag.
- Brockhaus, R. (1994). *Flugregelung*. Berlin: Springer.
- Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Hrsg.), *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis.
- Bubb, H. (1981). Analyse der Systemdynamik. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Lehrbuch der Ergonomie*. München: Carl Hanser Verlag.
- Bubb, H. (2003). Fahrerassistenz - primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? *Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Berichte Vol. 1768*. Düsseldorf: VDI-Verlag.

Literaturverzeichnis

- Bubb, H., & Sträter, O. (2006). Grundlagen der Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen. *Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Bullinger, H. J., Kern, P., & Braun, M. (2006). Controls. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors & Ergonomics*. New York: John Wiley & Sons.
- Buxton, B. (2007). *Sketching User Experiences: getting the design right and the right design*. In D. Cerra (Hrsg.) San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier.
- Carver, E. M. (1977). *Evaluation of a simulated touch display under whole-body random vibration conditions*. British Aircraft Corp.
- Coermann, R. R. (1963). The Mechanical Impedance of the Human Body in Sitting and Standing Position at Low Frequencies. In S. Lippert (Hrsg.), *Human Factors*.
- Daimler Chrysler AG. (2005). *Calibration Task*. Softwaremanual.
- Daimler Chrysler AG. (2004). *Cognitive Reference Task*. Softwaremanual.
- Davidson, P. L., & Han, J. Y. (2006). Synthesis and control on large scale multi-touch sensing displays. *Proceedings of the 2006 Conference on new Interfaces for Musical Expression*. Paris.
- Degani, A., Palmer, E. A., & Bauersfeld, K. G. (1992). "Soft" Controls for Hard Displays: Still a Challenge. *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Human Factors Society*. Atlanta: Human Factors Society.
- DIN 33402-2 Beiblatt 1. (2006). *Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte; Beiblatt 1: Anwendung von Körpermaßen in der Praxis*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 33402-2. (2005). *Ergonomie - Körpermaße des Menschen - Teil 2: Werte*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 33411-4. (1987). *Körperkräfte des Menschen*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN 9241-110. (2006). *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*. Deutsches Institut für Normung e.V., Normenausschuss Ergonomie. Berlin: Beuth Verlag.
- Dudek, R. A., & Clemens, D. E. (1965). Effect of vibration on certain psychomotor responses. *Journal of Engineering Psychology*, 4.
- EFA. (1987). *Cockpit Arrangements Twin Seat Eurofighter*.
- EFA. (1993). *EFA XY-Controller Moding Requirements For SP04*. Eurofighter.
- EFA. (2004). *Hands On Throttle And Stick From SP3 To SP5*. Eurofighter.

Literaturverzeichnis

- Eichinger, A. (2010). *Bewertung von Benutzerschnittstellen für Cockpits hochagiler Flugzeuge*. Dissertation, Universität Regensburg, Lehrstuhl für allgemeine und angewandte Psychologie.
- Eichinger, A. (2008). *Informationsverarbeitung*. Universität Regensburg.
- Eichinger, A., Kellerer, J., Sandl, P., & Zimmer, A. (2009). Panoramic Displays - Bewertung von Benutzerschnittstellen im Kontext von Mehrfachfähigkeit. In A. Lichtenstein, C. Stößel, & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Reihe 22, Nr. 19*. Düsseldorf: VDI.
- Eichinger, A., Kellerer, J., Sandl, P., & Zimmer, A. (2008). Panoramic Displays - Quantitative Evaluation sensomotorischer Aspekte der Bedienleistung. In M. Grandt, & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Bonn: DGLR.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47 (6).
- Furness, T. A. (1986). The Super Cockpit and Human Factors Challenges. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. Volume 30, Nr. 1*. Human Factors and Ergonomics Society.
- Gauer, O. H., & Zuidema, G. D. (1961). Gravitational Stress in Aerospace Medicine.
- Goldstein, E. B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Grether, W. F. (1971). Vibration and human performance. *Human Factors*, 13.
- Griffin, M. J. (1996). *Handbook of Human Vibration*. Amsterdam: Elsevier.
- Gruber, H. (1994). *Expertise-Modelle und empirische Untersuchungen*. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Grunwald, M., & Beyer, L. (2001). *Der bewegte Sinn, Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel, Boston, Berlin: Birkenhäuser Verlag.
- Hadwiger, P. (2008). *Perspektivische Displays in hochagilen Flugzeugen*. Diplomarbeit, Technische Universität München, Lehrstuhl für Flugmechanik und Flugführung.
- Hafer, X., & Sachs, G. (2002). *Flugmechanik*. Berlin: Springer-Verlag
- Halldórsson, T. (2004). *LED- und LASER-Projektionsdisplays mit holographischen Bildschirmen*. EADS Military Air Systems. Patent EP19980909324.
- Han, J. Y. (2005). Low Cost Multi-Touch Sensing through Frustrated Total Internal Reflection. *Symposium on User Interface Software and Technology*. Seattle.
- Harris, C. M. (1988). *Shock and vibration handbook*. New York: McGraw-Hill.

- Harris, C. M. (2002). *Harris' Shock and vibration handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Hart, S. (2006). NASA Task Load Index (NASA-TLX): 20 years later. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings*, 50 (9).
- Helander, M. A. (2006). *Guide to Human Factors and Ergonomics*. London: CRC Press.
- Henning, E. (1991). Military Performance in Sustained Acceleration and Vibration Environments. In R. Gal, & A. D. Mangelsdorff (Hrsg.), *Handbook of Military Psychology*. New York: John Wiley & Sons.
- Hermisdorfer, J. (2002). *Bewegungsmessung zur Analyse von Handfunktionen: Vorschlag einer standardisierten Untersuchung*. EKN - Beiträge für die Rehabilitation.
- Hoener, S. J., & Hardy, G. J. (1999). Touchscreen displays for military cockpits. In D. G. Hopper (Hrsg.), *Cockpit Displays VI: Displays for Defense Applications*, 3690. Orlando: SPIE.
- Höhne, G. M. (2001). *Roll Ratcheting: Cause and Analysis*. Dissertation, Technische Universität Braunschweig.
- Hopper, D. G. (2000). 1000 X difference between current displays and capability of human visual system. In *SPIE Conference on Cockpit Display VII: Displays for Defense Applications. Proc. SPIE 4002*. Orlando, Florida.
- Hörmann, H.-J., & Lorenz, B. (2009). Forschungs- und Anwendungsgebiete der Luftfahrtpsychologie. In H.-P. Krüger (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, Praxisgebiet 6 „Verkehrspsychologie“, Band 2 Anwendungsfelder. Göttingen: Hogrefe.
- Hornick, R. J. (1963). Problems in Vibration Research. In S. Lippert (Hrsg.), *Human Factors*.
- Huddleston, H. F. (1964). *Human performance behaviour in vertical sinusoidal vibration*. Institute of Aviation Medicine, Farnborough.
- ISO 5982. (2001). *Mechanical vibration and shock: Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration*. International Organisation for Standardization.
- ISO 9241-11. (1999). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten*. Deutsches Institut für Normung e.V., Normenausschuss Ergonomie. Berlin: Beuth Verlag.
- ISO 9241-9. (2002). *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten*. Deutsches Institut für Normung e.V., Normenausschuss Ergonomie. Berlin: Beuth Verlag.
- Jarrett, D. N. (2005). *Cockpit Engineering*. Hampshire: Ashgate Publishing Limited.
- Joss, J. (1987). Cockpit Automation. *Defense Electronics*.
- Jukes, M. (2004). *Aircraft Display Systems*. Trowbridge: Cromwell Press Ltd.

- König, P., & Kuhlmann, U. (2008). Finger-fertig? Multitouch: Wunsch und Wirklichkeit. *c't*, Bd. 14.
- Karlsou, A. K. (2007). *Interface and Interaction Design for one-handed mobile Computing*. Dissertation, University of Maryland.
- Kellerer, J. (2006). *Anzeigekonzept für Großflächendisplays in hochagilen Flugzeugen*. Diplomarbeit, Technische Universität München.
- Kellerer, J., & Eichinger, A. (2008). *PANDIS-Versuchsplanung*. Evaluationsplanung, EADS, Human Factors Engineering, Manching.
- Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P., & Klingauf, U. (2008). Panoramic Displays - Anzeige- und Bedienkonzept für die nächste Generation von Flugzeugcockpits. In M. Grandt, & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Bonn: DGLR.
- Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P., & Klingauf, U. (2009). Panoramic Displays - Usability-Untersuchung eines neuartigen Bedienkonzepts in einem repräsentativen Belastungskontext. In A. Lichtenstein, C. Stößel, & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Reihe 22, Nr. 29*. Düsseldorf: VDI.
- Kellerer, J., Kerschenlohr, S., Neujahr, H., & Sandl, P. (2007). Panoramic Displays - Anzeige- und Bedienkonzept für die nächste Generation von Flugzeugcockpits. *Prospektive Gestaltung von Mensch-Maschine-Interaktion. Reihe 22, Nr. 25*. Düsseldorf: VDI.
- Kerschenlohr, S. (2007). *Bedienkonzept für großflächige Displays in hochagilen Flugzeugen*. Diplomarbeit, Technische Universität München.
- Kleebaum, R. (2005). Brilliant colours even in bright light. *Planet Areospace*, 3.
- Klingauf, U., & Azzam, M. (2008). Luftverkehr 2030 – Herausforderungen und Trends. *thema forschung – Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität Darmstadt*, 1.
- Klingberg, T. (2008). *Multitasking - Wie man die Informationsflut bewältigt, ohne den Verstand zu verlieren*. München: C.H. Beck.
- Kolich, M. (2006). Work in Extreme Environments: Effects on Performance. In W. Karwowski, *International encyclopedia of ergonomics and human factors*. London: CRC Press.
- Krähenbühl, G. (2008). *Sitzposition des Piloten im Cockpit des Eurofighters*. pers. Kommunikation.
- Krauß, L. (1999). Hardwaretrends bei Bediensystemen in der Produktionstechnik - Alternative Interaktionsformen. *VDI Berichte*, Nr. 1498.
- Kuhn, F. (2005). Methode zur Bewertung der Fahrerablenkung durch Fahrerinformationssysteme. *World Usability Day*. Stuttgart.
- Lewis, J. R. (2002). Psychometric Evaluation of the PSSUQ Using Data from Five Years of Usability Studies. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 14 (3&4).

- MForum. (2005). Kräftige Farbkontraste im Sichtfeld des Piloten. *MForum* .
- MIL-STD-1472F. (1999). *Human Engineering Design Criteria for Military Systems, Equipment and Facilities*. Norm.
- MIL-STD-1797. (1990). *Flying Qualities of piloted Aircraft*. Norm, US Air Force Department. Norm
- NASA-STD-3000. (1995). *Man Systems Integration Standards*. NASA. Norm
- Norman, D. A. (1989). The "Problem" of Automation: Inappropriate Feedback and Interaction, not "Overautomation". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* , Vol. 327, No. 1241.
- Osterhuber, R. (2009). *Schwingungsverhalten des Eurofighters*. Persönliche Kommunikation, EADS MAS, Abteilung für Flugregelung.
- Paddan, G. S., & Griffin, M. J. (1995). Interruption in hand control during exposure to whole-body vertical vibration. In S. Robertson (Hrsg.), *Contemporary Ergonomics* .
- Parks, D. L. (1963). Defining Human Reaction To Whole Body Vibration. In S. Lippert (Hrsg.), *Human Factors* .
- Rühmann, H. (1983). *Die Schwingungsbelastung in Mensch-Maschine-Systemen* . Habilitationsschrift, Technische Universität München, Institut für Ergonomie.
- Rühmann, H. (1984). Die Schwingungsbelastung in Mensch-Maschine-Systemen - Experimentelle Untersuchungen zur Bewegungsgenauigkeit bei stochastischer Roll- und Nickschwingungsbelastung. *VDI Fortschritts-Berichte* , Reihe 17, Nr. 22.
- Rakheja, S., Haru, I., & Boileau, P. E. (2002). Seated occupant apparent mass characteristics under automotive postures and vertical vibration. *Journal of Sound and Vibration* , Volume 253, Issue 1.
- Rapuano, S., & Harris, F. J. (2007). An Introduction to FFT and Time Domain Windows. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine* .
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, Cybernetics*. 13(3). New York: IEEE.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A., & Goodstein, L. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Ritzer, J. (2008). *Entwicklung haptisch codierter Rahmenleisten für großflächige Touchscreendisplays in hochagilen Flugzeugen*. Diplomarbeit, Hochschule Deggendorf.
- Rogers, W. A., Fisk, A. D., McLaughlin, A. C., & Pak, R. (2005). Touch a Screen or Turn a Knob: Choosing the Best Device for the Job. *Human Factors* , 47(2).

- Rohmert, W. (1981). Physische Beanspruchung durch muskuläre Belastungen. In H. Schmidtke (Ed.), *Lehrbuch der Ergonomie*. München: Carl Hanser Verlag.
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 4/84 (38).
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J., & Puente, J. M. (2004). Evaluation of subjective mental workload: A comparison of SWAT, NASA-TLX, and workload profile methods. *Applied Psychology*, 53(1).
- Schmidt, R. A., Lee, T. D., & Young, D. E. (2001). Principles of Simple Movement. In W. Karwowski (Hrsg.), *International encyclopedia of ergonomics and human factors*. London: Taylor.
- Schmidtke, H. (1974). Einfluß mechanischer Schwingungen auf visuelle Informationsaufnahme und motorische Koordination. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin* 9.
- Schmidtke, H. (2002). Vom Sinn und Unsinn der Messung psychischer Belastung und Beanspruchung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 56 (1/2).
- Schmidtke, H., & Groner, P. (1989). *Handbuch der Ergonomie*. Steinebach/Wörthsee: Luftfahrt Verlag Walter Zürl.
- Schohan, B., Rawson, H. E., & Soliday, S. M. (1965). Pilot and observer performance in simulated low altitude high speed flight. *Human Factors*, 7.
- Schomaker, L., Nijtmans, J., Camurri, A., Lavagetto, F., Morasso, P., Benoît, C., et al. (1995). *A taxonomy of multimodal interaction in the human information processing system. Multimodal integration for advanced multimedia interfaces*. University of Nijmegen, Nijmegen.
- Schwartz, N., & Adam, E. C. (1987). Panoramic Cockpit Control and Display System (PCCADS). *AGARD, CP-425*.
- Sexton, G. A. (1988). Cockpit-Crew Systems Design and Integration. In E. L. Wiener, & D. C. Nagel, *Human Factors in Aviation*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Spinoni, M., Wadlow, A. E., Luceron, E., & Hahn, P. (1986). *EFA Cockpit Description*. Turin.
- STANAG 3705. (1997). *Human Engineering Design Criteria for Control and Displays in Aircrew Stations*. Norm, North Atlantic Treaty Organization (NATO), Military Agency for Standardization. Norm
- Stanton, N. A. (2003). Human error identification in human-computer interaction. In J. A. Jacko, & A. Sears (Hrsg.), *The human-computer interaction handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Stanton, N., Salmon, P., Walker, G., Baber, C., & Jenkins, D. (2005). *Human Factors Methods: a practical guide for engineering and design*. Aldershot: Ashgate Publishing.
- Sternberg, S. (1966). High-Speed Scanning in Human Memory. *Science*, 153 (3736).

- Sternberg, S. (2004). Memory-scanning: Mental processes revealed by reactiontime experiments. *Cognitive Psychology: Key Readings* .
- Toms, M., & Williamson, J. (1998). *Aviation Human-Computer Interface Style Guide*. West Bloomfield: Veda Inc.
- Trümper, J. (2007). *Multi-Touch-Systeme und interaktive Oberflächen*. Seminar Human-Computer Interaction, Technische Universität Berlin.
- Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A Feature-Integration Theory of Attention. *Cognitive Psychology*, 12(1).
- Tsang, P. S., & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics* , 39.
- Tsang, P. (2007). The Dynamics of Attention and Aging. In A. Kramer, D. Wiegmann, & A. Kirlik (Hrsg.), *Attention: From Theory to Practice*. New York: Oxford University Press.
- Van Rullen, R., Reddy, L., & Koch, C. (2004). Visual Search and Dual Tasks Reveal Two Distinct Attentional Resources. *Journal of Cognitive Neuroscience* , 16 (1).
- VDI/VDE 3850. (2004). *Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen: Dialoggestaltung für Touchscreens*. Berlin: Beuth Verlag. Norm
- Vilimek, R. (2007). *Gestaltungsaspekte multimodaler Interaktion im Fahrzeug. Ein Beitrag aus ingenieurpsychologischer Perspektive*. Dissertation, Universität Regensburg.
- von Gierke, H. E., McCloskey, K., & Albery, W. B. (1991). Military Performance in Sustained Acceleration and Vibration Environments. In R. Gal, & A. D. Mangelsdorff (Hrsg.), *Handbook of Military Psychology*. New York: John Wiley & Sons.
- Weghorst, S., & Furness, T. A. (1996). *Advanced Human Interfaces for Telemedicine*. University of Washington, Human Interface Technology Laboratory, Seattle.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple Resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* , 3(2).
- Wickens, C. D. (2003). Pilot actions and tasks: Selections, execution, and control. In P. S. Tsang, & M. A. Vidulich (Hrsg.), *Principles and Practice of Aviation Psychology*. Mahwah, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Wickens, C. D., & Carswell, C. M. (1997). Information Processing. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of Human Factors & Ergonomics* (2nd Edition ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Wickens, C. D., & Carswell, C. M. (1995). The proximity compatibility principle: Its psychological foundation and its relevance to display design. *Human Factors* , 37(3).

Wickens, C. D., & McCarley, J. S. (2008). *Applied Attention Theory*. New York: Taylor & Francis Group.

Wickens, C. D., Hyman, F., Dellinger, J., Taylor, H., & Meador, M. (1986). The Sternberg Memory Search Task as an Index of Pilot Workload. *Ergonomics*, 29 (11).

Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon, S. (2004). *An Introduction to Human Factors Engineering*. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

Wickens, C., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Wilschut, E. S., Rinkenauer, G., Brookhuis, K., & Falkenstein, M. (2008). Effects of Visual Search Task Complexity on Lane Change Task Performance. *European Conference on Human Centered Design for Intelligent Transport Systems Lyon, France*.

Zimbardo, P. G., & Gerrig, R. J. (1999). *Psychologie*. (7. Auflage). Berlin: Springer.

Zwisler, R. (2001). Haptische Wahrnehmung in der Mensch-Maschine-Interaktion. In M. Grunwald, & L. Beyer (Hrsg.), *Der bewegte Sinn, Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Basel, Boston, Berlin: Birkenhäuser Verlag.

Weblinks

Aeroteam. (2009). *Lockheed-Martin F-35 Lightning II*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von US Cockpits: [http://uscockpits.com/Jet%20Fighters/F-35_Cockpit_\(Simulator\)-1.jpg](http://uscockpits.com/Jet%20Fighters/F-35_Cockpit_(Simulator)-1.jpg)

airpower.at. (2009). *Eurofighter Technik - Daten*. Abgerufen am 09. Dezember 2009 von www.airpower.at

Airliners. (2009). *Airliners.net*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/photos/4/8/9/1456984.jpg>

Craftdata. (2007). *INFRARED TOUCH - Integrated Touch*. Abgerufen am 4. Dezember 2009 von http://www.craftdata.co.uk/touch_systems_infrared.html

Diehl Aerospace. (2009). *Cockpit and Display Systems*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://www.diehl-aerospace.de/index.php?id=1349>

Driven Technologies. (2009). *Flat Panel Avionic Display F 35*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von http://driven-technologies.com/prod_pages/prod1.html

Hierakares. (29. September 2008). *Liste strahlgetriebener Kampfflugzeuge*. Abgerufen am 12. November 2008 von [wikipedia.de: http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_strahlgetriebener_Kampfflugzeuge](http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_strahlgetriebener_Kampfflugzeuge)

Literaturverzeichnis

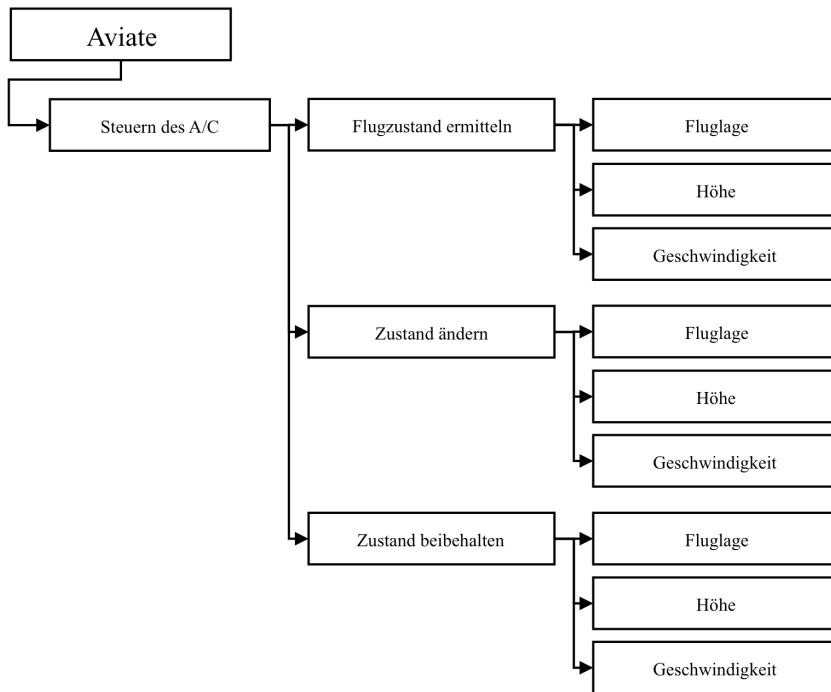
- Mader, G. (2001). *Airpower.at*. Abgerufen am 12. August 2008 von Lockheed baut den Joint Strike Fighter: http://www.airpower.at/news01/1027_jsf/
- Net Resources International. (2009c). *Dassault Rafale*. (SPG Media Limited) Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://www.airforce-technology.com/projects/rafale/rafale7.html>
- Net Resources International. (2009b). *F-35 Joint Strike Fighter*. (SPG Media Limited) Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://www.airforce-technology.com/projects/jsf/>
- Net Ressources International. (2009a). *Eurofighter Typhoon*. (SPG Media Limited) Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://www.airforce-technology.com/projects/ef2000/>
- Rauen, A. (2009a). *Das Programm - Die Abfangjäger-Nachbeschaffung*. Abgerufen am 28. April 2009 von Eurofighter.at: http://www.eurofighter.at/austria/dp_an.asp
- Rauen, A. (2009b). *Program Overview*. Abgerufen am 29. April 2009 von Eurofighter Typhoon: http://www.eurofighter.com/et_tp_po.asp
- Reiser. (2009). *Reiser Systemtechnik*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von <http://www.top-screen.de/abgeschlossen/reiser/deutsch/index.htm>
- Sukhoi. (2009). *Su-35 Flanker*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von http://www.knaapo.ru/media/eng/about/production/military/su-35/su-35_buklet_eng.pdf
- Wollenhaupt, G. (2009). *How F/A 22 Raptors Work*. Abgerufen am 10. Oktober 2009 von How Stuff Works: <http://www.howstuffworks.com/f-22-raptor.htm>
- Yoon, J. N. (27. June 2004). *Fighter Generations*. Abgerufen am 23. March 2009 von [aerospaceweb.org: http://www.aerospaceweb.org/question/history/q0182.shtml](http://www.aerospaceweb.org/question/history/q0182.shtml)

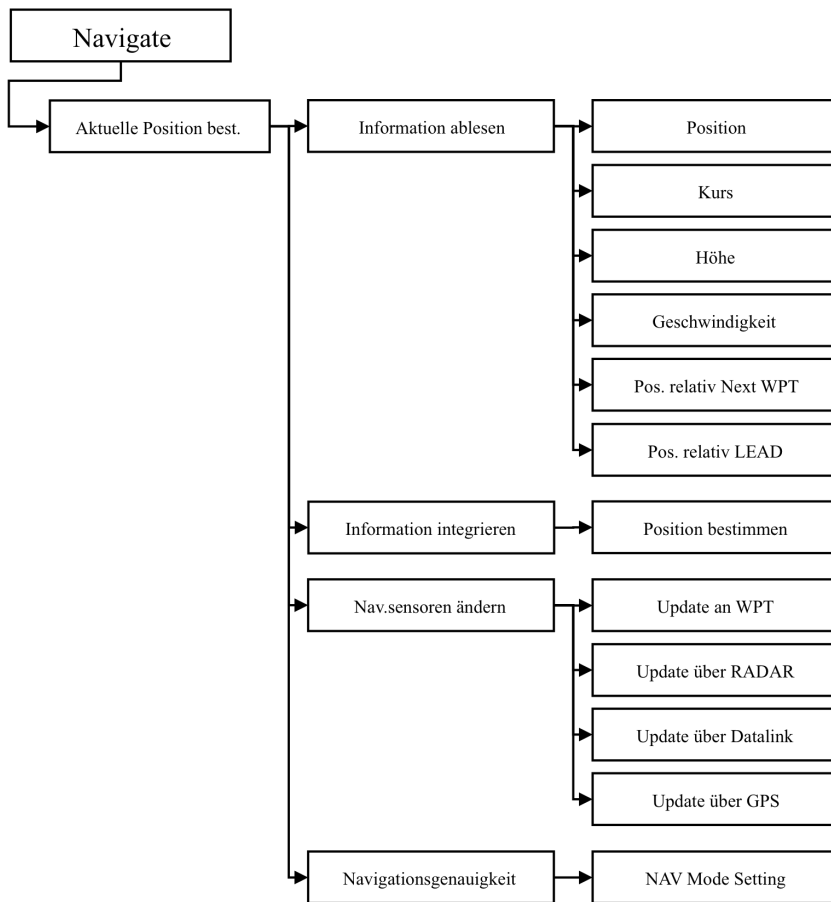
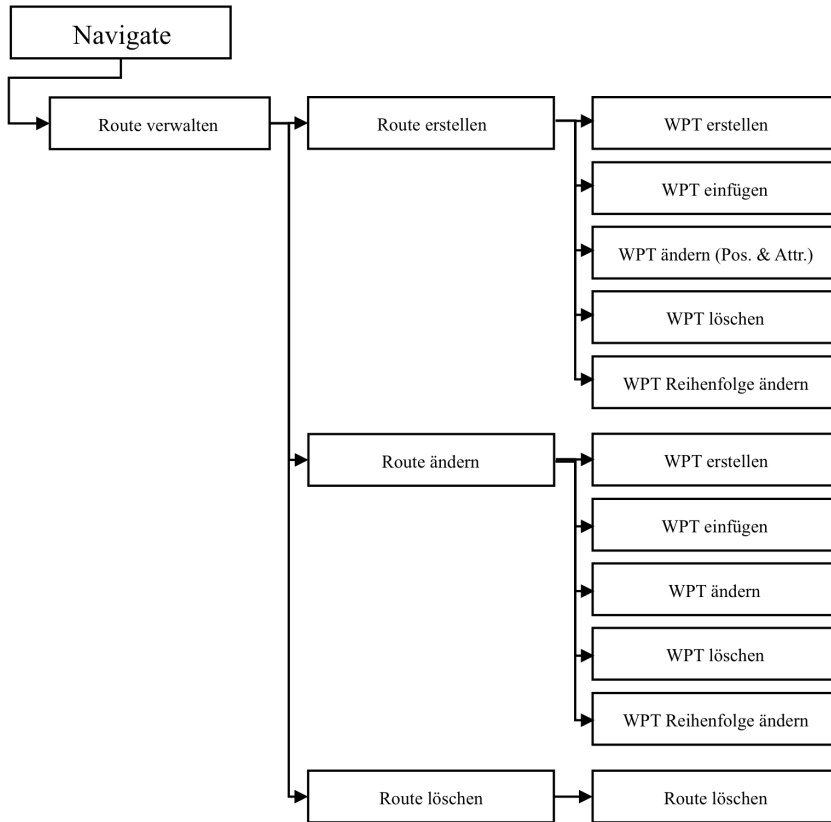
Anhang A Biomechanische Kennwerte

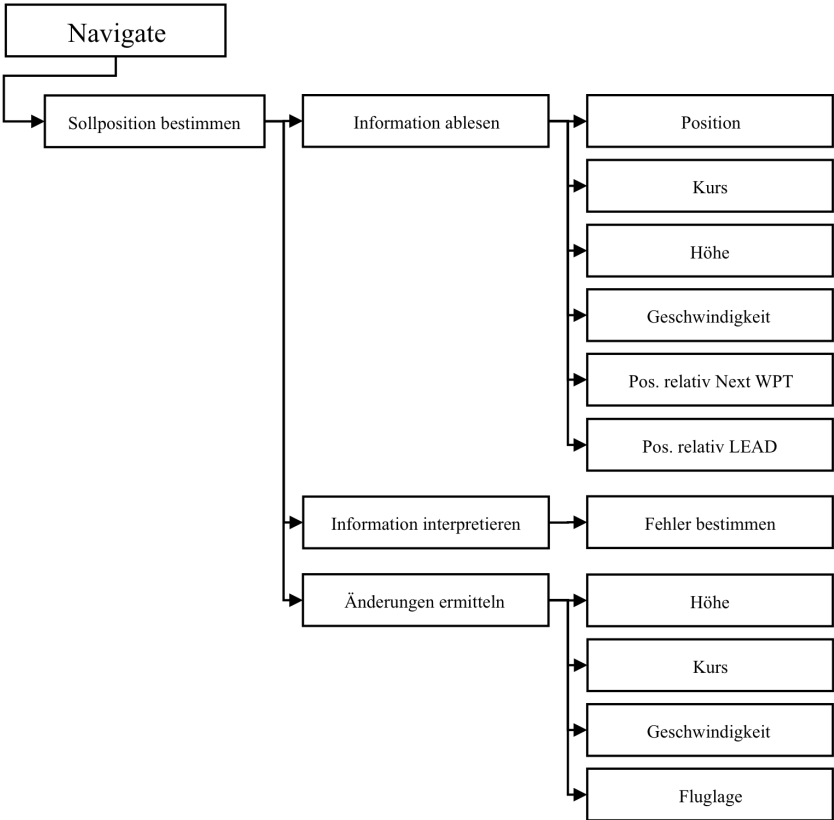
	5. Perzentil	95. Perzentil
Nach Spinoni (1986):		
Körperhöhe:	1676 mm	1879 mm
Gewicht:	60,1 kg	92,3 kg
Augenhöhe, sitzend:	747 mm	872 mm
Reichweite nach vorn a_{\max} (Griffachse):	731 mm	871 mm
Nach DIN 33402 (2005):		
Schulterhöhe, sitzend:	575 mm	675 mm
Schulterbreite, biakromial:	375 mm	440 mm
Oberarmlänge:	335 mm	400 mm
Unterarmlänge (mit Hand):	440 mm	510 mm
Handlänge:	175 mm	208 mm
Zeigefingerlänge:	68 mm	84 mm
Nach NASA-STD-3000 (1995):		
Reichweite nach vorn (Daumenkuppe)	749 mm	882 mm
Masse Oberarm	1,60 kg	2,50 kg
Masse Unterarm	1,18 kg	1,72 kg
Masse Hand	0,46 kg	0,61 kg
Masse HAS	3,24 kg	4,83 kg
Schwerpunkt Oberarm, (von Schulter)	141 mm	157 mm
Schwerpunkt Unterarm, (von Ellbogen)	109 mm	121 mm
Schwerpunkt Hand, (von Handgelenk)	51 mm	60 mm
Schwerpunkt HAS (eigene Berechnung)	32,3 mm	36,3 mm
$S_{ges,HAS} = \frac{M_{SDP}}{F_{ges,HAS}}$		
Nach DIN 33411-4 (1987):		
Reichweite a/a_{\max} des HAS für Haltegriff	95%	80%

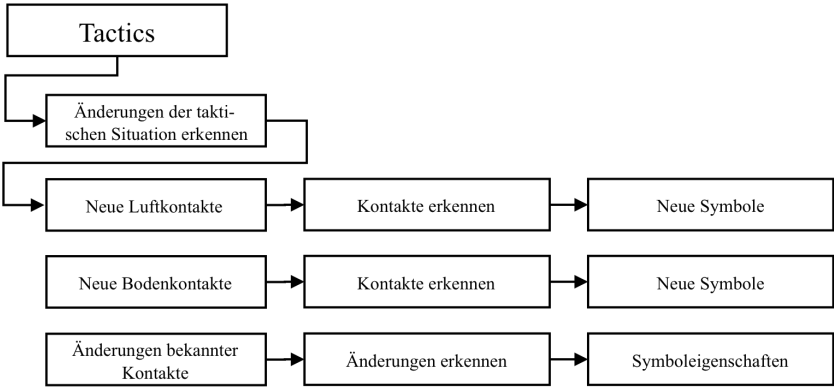
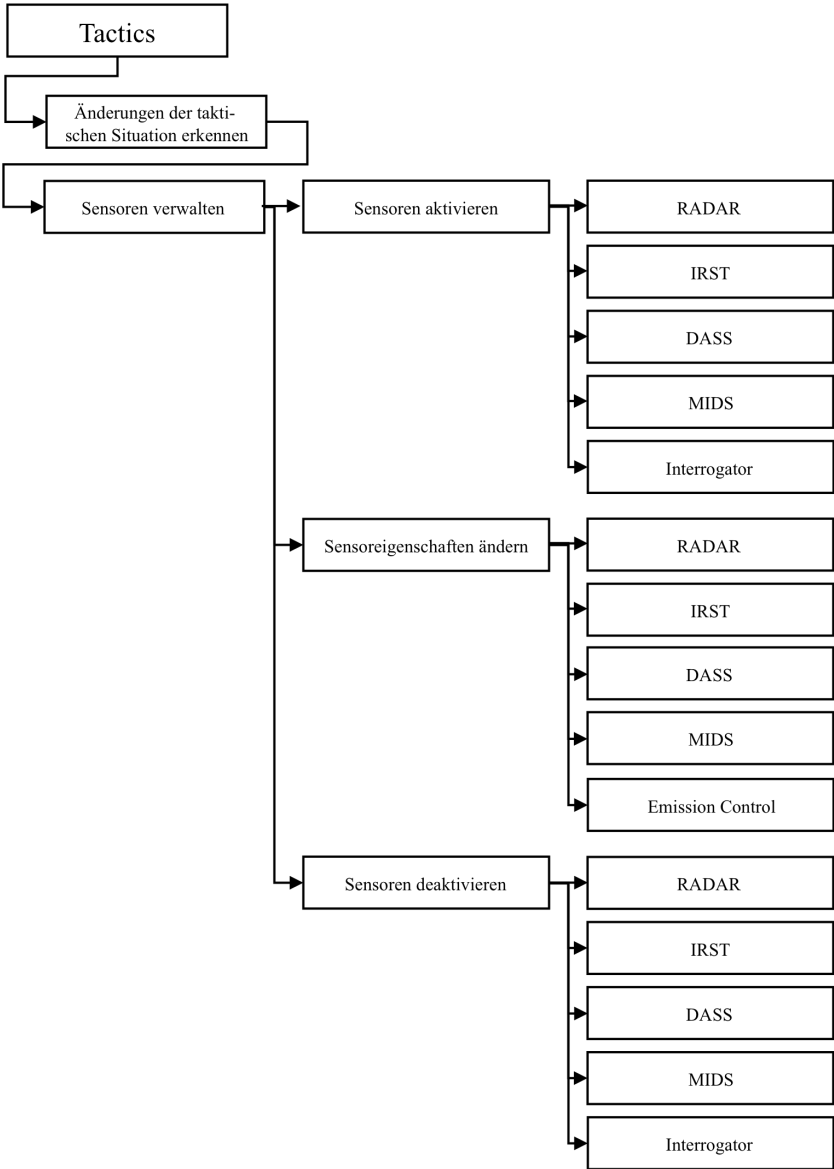
Anhang B Ergebnisse der HTA

In der HTA wurden die fünf Aufgaben des Piloten im Cockpit (vgl. Kap. 3.3.1) in drei weitere hierarchische Stufen aufgegliedert. Im Folgenden werden auf Grundlage des Modells der menschlichen Informationsverarbeitung (Wahrnehmung, Verarbeitung, Handlungsreaktion, vgl. Kap. 2.4.2) alle wesentlichen Sub-Tasks, die jeweiligen Eingabehandlungen und die benötigten Informationen (in den Diagrammen von links nach rechts) in einer für diese Untersuchung ausreichenden Detaillierung zusammengefasst.

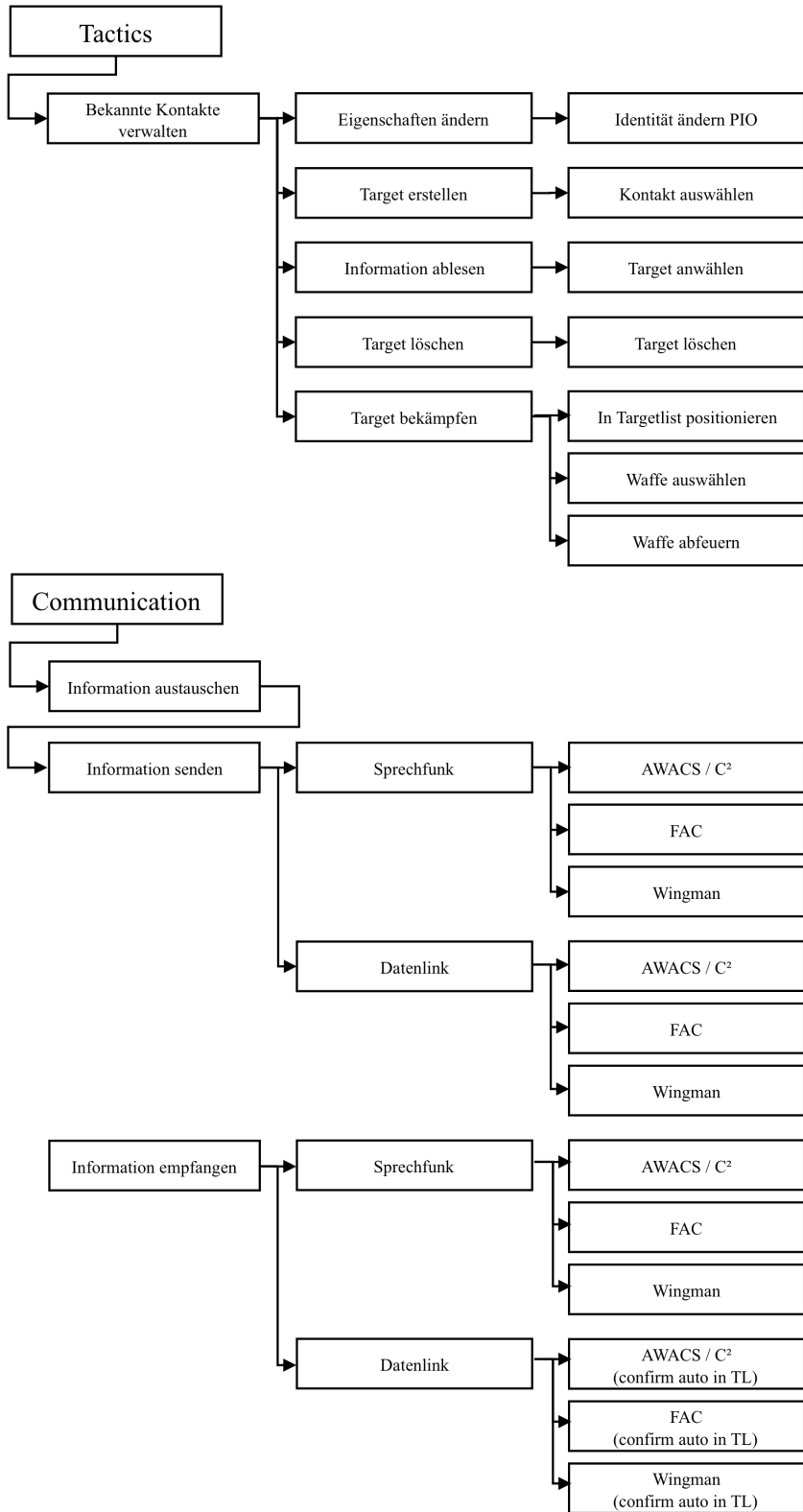




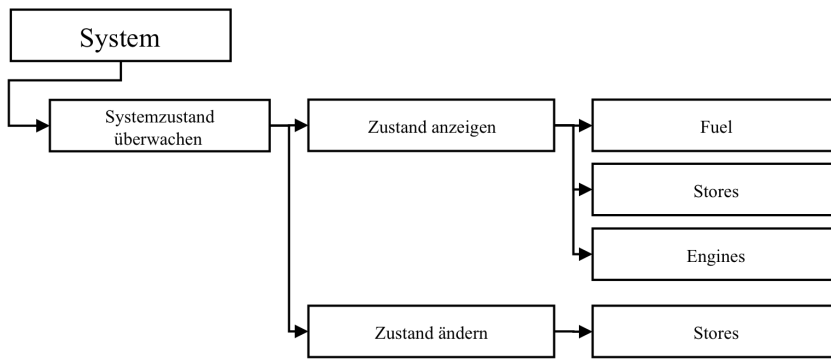




Anhang B · Ergebnisse der HTA



Anhang B · Ergebnisse der HTA



Anhang C Beschreibung der Anwendungsfälle

Representative Tactical Flight (Overall Use Case, which contains CAP, Route Management and Air-to-Surface Attack as elements)

Actors:

- Leader & Wingman (2 Aircraft)
- 2nd CAP Formation (2 Aircraft)
- Unknown/hostile Aircraft (number unknown)
- ATC (AWACS)
- SAM-Site

Goals:

- Complete CAP and A/S-Attack successfully
- Ensure fleet safety

Trigger:

- Entering of „Navigation“ phase of flight after Take Off completion

Prerequisites:

- All systems working
- Actual route and alternative routes stored in data memory
- A/S target position known
- All crew members at good health

Assumptions:

- No system failure during mission flight
- After entering hostile territory end of all communication and data link
- Entering hostile territory in „two ship formation“
- CAP with 2 „two ship formations“

Expected Result:

- Safely return to home base
- Tasks successfully completed

Combat Air Patrol

Actors:

- Leader & Wingman (2 Aircraft)

2nd CAP Formation (2 Aircraft)

Unknown/hostile Aircraft

ATC (AWACS)

Goals:

Follow CAP-Route

Surveillance of FAOR

Detection of any penetrating Aircraft

Complete CAP successfully

Ensure fleet safety

Trigger:

Entering of CAP-Route

Prerequisites:

All systems working

Actual route and alternative routes stored in data memory

All crew members at good health

Detection of threats is very likely

Assumptions:

No system failure during mission flight

Communication and data link are available

During CAP two hostile aircraft enter FAOS

Hostile Aircraft back out

Expected Result:

Task safely and successfully completed

All unknown and hostile intruders in FAOR detected

Route Management

Actors:

Leader & Wingman (2 Aircraft)

4 Unknown/hostile Aircraft (position unknown)

SAM-Sites

Goals:

Reach waypoint „Initial A/S WP“ at given time

Ensure fleet safety

Trigger:

Detection of ground based SAM-Site

Prerequisites:

All systems working

Current position over hostile territory

No communication and data link to allied forces or ATC available

Ground based SAM-Site on actual route

All crew members at good health

Assumptions:

No system failure during mission flight

Own Aircraft is not detected by hostile forces

Pilot is going to alter the waypoint's position en route

Expected Result:

„Initial A/S WP“ safely reached at a given time

Manual override of waypoint data successfully performed

Air-to-Surface Attack

Actors:

Leader & Wingman (2 Aircraft)

4 hostile Aircraft (position known)

SAM-Sites

Goals:

Reach target in planned time

Ensure fleet safety

Trigger:

Reach initial target waypoint

Prerequisites:

All systems working

Current position over hostile territory

No communication and data link to allied forces or ATC available

Target has to be reached in low level flight

All crew members at good health

Anhang C · Beschreibung der Anwendungsfälle

Assumptions:

No system failure during mission flight

Own Aircraft is not going to be detected by hostile forces after final approach on target

Expected Result:

Friendly territory safely reached and entered

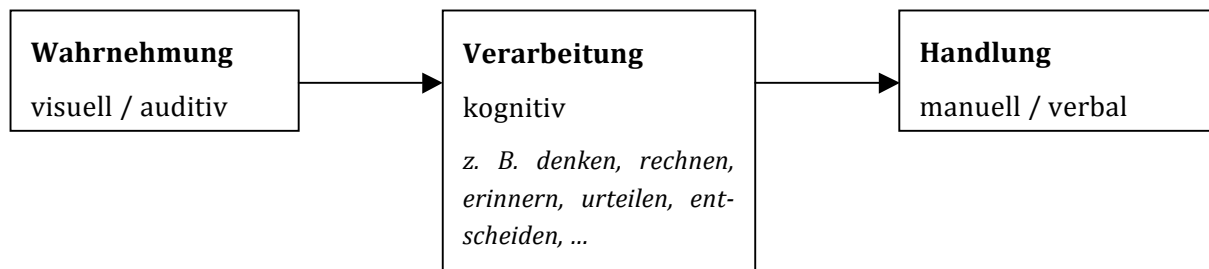
Task completed successfully

Anhang D CWP-Fragebogen

Vorgang der Informationsverarbeitung

Der Mensch nimmt Informationen wahr, verarbeitet diese, vergleicht sie mit gespeicherten Erfahrungen, überlegt zwischen unterschiedlichen Entscheidungen und handelt. Er nimmt die Folgen seines Handelns wahr, interpretiert diese usw.

Dieser Vorgang kann vereinfacht so dargestellt werden



Wie hoch waren die Belastungen während der eben bearbeiteten Aufgabe(n)?

Bitte vergeben Sie in jeder der fünf Kategorien je nach Belastung 0-100 Punkte.

Wahrnehmung		Verarbeitung visuell <i>z. B. denken, rechnen, erinnern, ur- teilen, entscheiden, ...</i>	Handlung	
visuell	auditiv		manuell	verbal
0-100	0-100	0-100	0-100	0-100

Anhang E Instruktionen zur Usability-Untersuchung

Information und Instruktion

Hintergrund:

Wir untersuchen im Projekt Panoramic Displays die Verwendbarkeit eines großflächigen Touchscreen-Displays in hochagilen Flugzeugen. Auf Grundlage eines Anzeige- und Bedienkonzepts wurde ein erster Prototyp entwickelt. Dieser soll nun bewertet werden.

Touchscreen und Großflächendisplay wirken sich vermutlich auf Bedienung (z. B. Genauigkeit oder Geschwindigkeit) und Wahrnehmung (z. B. *Wahrnehmbarkeit* oder Situationsbewusstsein) aus. Diese Aspekte werden deshalb evaluiert.

Heute werden wir uns auf die Qualität der Bedienung konzentrieren.

Multitasking:

Der Piloten muss im Cockpit mehrere Aufgaben gleichzeitig durchführen. Wir wollen dieses Multitasking in unseren Experimenten aufnehmen. So sollen die künstlichen Labor-Versuche diesem Gesichtspunkt der realen Situation angenähert werden.

Ihre Aufgabe wird sein, mittels Touchscreen oder Trackball bestimmte Ziele auf dem Display auszuwählen. Diese Auswahl sollen Sie möglichst genau und schnell ausführen.

Gleichzeitig führen Sie eine von vier verschiedenen Zusatzaufgaben aus. Drei der Aufgaben sind standardisiert und decken isolierte Mechanismen der Informationsverarbeitung ab: visuelle Wahrnehmung, kognitive Verarbeitung, manuelle Handlungsausführung. Eine weitere Zusatzaufgabe haben wir speziell entwickelt. Sie basiert auf einer Aufgabenanalyse, die wir für die von uns untersuchten Use Cases durchgeführt haben. Diese komplexe Aufgabe soll Wahrnehmung, kognitive Verarbeitung und Handlungsausführung realitätsnah abdecken.

Weder die Zeige- noch die Zusatzaufgaben sind von vornherein wichtiger. Wir werden die Wichtigkeit der beiden Aufgaben vielmehr variieren. Je nach Gewichtung in den Durchgängen ist die Zeigeaufgabe wichtiger, ist die Zusatzaufgabe wichtiger oder sind beide Aufgaben gleich wichtig.

„Wichtiger“ bedeutet, dass Sie den Schwerpunkt Ihrer Aufmerksamkeit auf diese Aufgabe legen sollen. In Zahlen ausgedrückt, sollen Sie Ihre Aufmerksamkeit nach dem Schlüssel 80 zu 20 verteilen. Für gleich wichtige Aufgaben ist die Aufteilung demnach 50 zu 50. Vor jedem Durchgang werden Sie über die Gewichtung der Aufgaben informiert.

Wir variieren auch die Schwierigkeit der vier Zusatzaufgaben. Jede dieser Aufgaben wird in einer leichteren und einer schwierigeren Variante bearbeitet.

Die Zeigeaufgaben führen Sie einmal mit dem Touchscreen und einmal mit dem Trackball aus. Für diese Aufgaben verwenden Sie die linke Hand.

Ablauf:

Zuerst werden Sie jede einzelne Aufgabe separat durchführen. Diese Trainingsdurchgänge werden nicht ausgewertet. Sie dienen nur dazu, die jeweiligen Aufgaben kennen zu lernen.

Die einzelnen Experimentaldurchgänge werden in zufälliger Reihenfolge bearbeitet. Sie dauern je 90 Sekunden. Zu Beginn dieser Durchgänge werden die Versuchsleiter die einzelnen Aufgaben manuell und möglichst gleichzeitig starten. Ein einzelner Durchgang ist beendet, sobald die Zeigeaufgabe nicht mehr dargestellt wird.

Nach jedem Durchgang bitten wir Sie, Ihre Beanspruchung an Hand zweier Fragebögen einzuschätzen. Das Ausfüllen dieser Fragebögen dauert erfahrungsgemäß nur wenige Sekunden.

Disclaimer:

Es werden nicht Sie als Versuchsteilnehmer, sondern die Qualität des Displays bewertet. Alle erhobenen Daten werden vertraulich behandelt.

Zeigeaufgaben

Grundlagen:

Jedes Symbol verfügt über eine 17 mm mal 17 mm große Aktivierungsfläche. Das sichtbare Symbol hat einen Durchmesser von ca. 7 mm. Wird der Cursor unabhängig vom Bedienelement im Anwahlvorgang über die Aktivierungsfläche eines Symbols bewegt, so wird die Größe dieser Fläche durch eine Umrandungslinie optisch dargestellt. Das Positionieren des Cursors erfolgt entweder durch Positionieren des Fingers auf dem Display oder durch Bewegen des Trackballs.

Touchscreen:

Der Touchscreen wird im Rahmen dieser Versuche immer mit der linken Hand bedient, unabhängig von der Position der anzuwählenden Ziele. Dadurch sollen die ungünstigsten zu erwartenden Bedienungsumstände abgebildet werden.

Es handelt sich hierbei um einen IR-Touchscreen. Wird der Finger auf die Displayoberfläche bewegt, so werden die vertikalen und horizontalen IR-Lichtschranken unterbrochen und der Cursor an die jeweilige Stelle gesetzt. Dies entspricht der Bewegung der Mouse sowie dem Drücken der linken Mousetaste (Mouse Down).

Befindet sich der Finger auf der Oberfläche und wird er bewegt, so wird der Cursor entsprechend mitverschoben. Erst wenn der Finger das IR-Raster wieder verlässt, wird an dieser Stelle ein Eingabe-Event ausgelöst (Mouse Up).

Wichtig: Wird der Finger kurz vor dem Abheben von der Displayoberfläche verschoben, kann der Fall eintreten, dass der Cursor wieder aus der Aktivierungsfläche herausbewegt wird. Daher empfehlen wir, den Finger möglichst senkrecht zur Displayfläche abzuheben.

Trackball:

Der Cursor wird durch Drehen des Trackballs positioniert. Durch Drücken und Loslassen der rechten Taste am Trackball-Bediengerät wird ein Eingabe-Event ausgelöst. Dies entspricht vom Bedienablauf der linken Mouse-Taste.

Single Targets:

Es werden einzelne Ziele nacheinander auf dem Display dargestellt. Wählen Sie diese Ziele nach ihrem Auftauchen möglichst schnell und genau an. Die Ziele erscheinen in immer gleichen zeitlichen Intervallen und verschwinden nach der Auswahl.

Ziel dieses Versuchs ist es, die Bedienleistung mit den betrachteten Interaktionsgeräten für einfache und standardisierte Eingabehandlungen zu erheben.

Multiple & Moving Targets:

Mehrere Symbole werden gleichzeitig dargestellt. Einige dieser Symbole bewegen sich. Angezeigt werden blaue und rote Symbole. Wählen Sie alle roten Ziele möglichst schnell und genau an. In immer gleichen zeitlichen Intervallen wird die Symbolkonfiguration geändert. Dabei werden die bisherigen Symbole aus- und eine neue Konfiguration von Symbolen eingeblendet.

Dieser Versuch orientiert sich an repräsentativen Interaktionsabläufen des Piloten im Cockpit. In bestimmten Zeitabständen kontrolliert der Pilot die taktische Situation auf den Multifunktionsdisplays. Die roten Ziele repräsentieren für das taktische Szenario relevante Symbole. Das Anwählen der roten Symbole im Test entspricht dem Quittieren eines wahrgenommenen Symbols im Flugbetrieb. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Symbole im Test basiert auf Relativgeschwindigkeiten zwischen Mach 0 und Mach 2 und einem angezeigten Kartenmaßstab von 1:500000.

Zusatzaufgaben

Visuelle Zusatzaufgabe:

Auf dem kleinen Head-up-Bildschirm werden Kreise dargestellt. Einer der Kreise ist größer als die anderen. Dieser Kreis ist in der linken oder der rechten Bildschirmhälfte. Durch Drücken der linken oder rechten Cursortaste (Pfeil nach links/Pfeil nach rechts) zeigen Sie an, welche Hälfte die richtige ist. Nachdem Sie gewählt und die Auswahl zwei Sekunden nicht mehr geändert haben, wird der nächste Durchgang angezeigt.

In der leichten Variante ist der Unterschied in der Größe von Zielkreis und Störkreisen größer als in der schwierigen.

Kognitive Zusatzaufgabe:

Sie hören zuerst eine Liste von Zahlen; vorgelesen von einer Computerstimme. Merken Sie sich die Zahlen bitte. Nach einem Signalton hören Sie eine weitere Zahl. Sie sollen nun entscheiden, ob diese Zahl Element der gemerkten Liste war. Antworten Sie bitte nur mit „ja“ oder „nein“; antworten Sie außerdem möglichst schnell und richtig.

In der leichten Variante enthält die Merkliste vier, in der schwierigen acht Zahlen.

Motorische Zusatzaufgabe:

Zu Ihrer Rechten ist eine Lochmaske platziert, die auf einer Tastatur angebracht ist. Sie sollen einen Holzgriffel im Uhrzeigersinn in die Vertiefungen stecken. Drücken Sie den Griffel ausreichend aber nicht zu fest auf die Tastatur, um einen Tastendruck auszulösen. Bearbeiten Sie diese Aufgabe „blind“, d. h. ohne Ihren Blick von der Zeigeaufgabe abzuwenden.

In der leichten Variante ist der Durchmesser der Vertiefungen größer und der Griffel mehr abgerundet als in der schwierigen.

Komplexe Zusatzaufgabe:

Auf dem kleinen Head-up-Bildschirm wird ein grünes Kreuz in der Mitte des Bildschirms dargestellt. Versuchen Sie durch geeignete Gegenbewegungen mit dem Joystick, das Kreuz möglichst in der Bildschirmmitte zu halten.

Zeitgleich werden Ihnen von einer Computerstimme Zahlenreihen vorgelesen. Nach einem Signalton sollen Sie die Zahlenreihe rückwärts wiederholen. Antworten Sie auch hier möglichst schnell und richtig.

In der leichten Variante ist die Ablenkung geringer als in der schwierigen. Die Zahlenreihe besteht im ersten Fall aus vier, im zweiten aus sechs Zahlen.

Anhang F Hardware

Aufgabe	Gerät
Gesamt	Mock-Up
Darstellung der Zeigeaufgaben	30" LC-Display (Großflächendisplay)
Bedienung der Zeigeaufgaben	IR-Touchscreen
Begrenzung der Kreuzform des Großflächendisplays	Haptisch kodierte Rahmenleiste
Darstellung von Visueller Suchaufgabe und Tracking-Aufgabe	19" LC-Display (Head Up Display)
Bedienung der Zeigeaufgaben	Trackball
Bedienung der Tracking-Aufgabe	Joy-Stick
Bedienung der Visuellen Suchaufgabe	Tastatur
Bedienung der Motorischen Zusatzaufgabe	Lochbrettschablone mit Tastatur
Darstellung der Zeigeaufgabe, Ansteuerung des Touchscreens und des Trackballs, Datenaufzeichnung der Zeigeaufgabe	Rechner 1
Auditive Darstellung der Sternberg Aufgabe und der Readback-Aufgabe, Datenaufzeichnung der Motorischen Aufgabe	Rechner 2
Darstellung, Bedienung und Datenaufzeichnung der Tracking-Aufgabe und der Visuellen Suchaufgabe	Rechner 3

Anhang G Software

Aufgabe	Software
Single Targets	<i>PANDIS-INTERACT Version 1.1</i>
Multiple & Moving Targets	<i>PANDIS-INTERACT Version 2.1</i>
Touchscreenansteuerung	<i>PANDIS-MULTITOUCH Version 2.2</i>
Sternberg Aufgabe	<i>CoTa Version 1.1</i>
Readback-Aufgabe	<i>CoTa Version 1.1</i>
Visuelle Suchaufgabe	<i>Visual Task 2.2</i>
Tracking-Aufgabe	<i>PANDIS-TRACKING Version 1.1</i>

Anhang H Fragebögen

Fragebogen ISO 9241-11

Instruktion

Dieser Fragebogen gibt Ihnen Gelegenheit, uns Ihre Reaktion auf die Interaktion mit Touchscreen bzw. Trackball mitzuteilen, die Sie eben verwendet haben. Ihre Antworten werden uns helfen zu verstehen, welche Aspekte Ihnen kritisch erscheinen und welche Aspekte Sie überzeugen.

Während Sie die Fragen beantworten, denken Sie möglichst an die Aufgaben, die Sie mit den Schaltflächen bearbeitet haben.

Bitte lesen Sie jede Aussage und geben Sie an, wie stark Sie dieser Aussage zustimmen oder nicht zustimmen, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen. Wenn Sie eine Frage nicht beantworten können oder möchten, kreuzen Sie "nicht zu beantworten" an.

Nachdem Sie diesen Fragebogen ausgefüllt haben, werden wir Ihre Antworten mit Ihnen gemeinsam durchsprechen, um sicher zu stellen, dass wir alle Ihre Stellungnahmen richtig verstanden haben.

Danke!

Teil 1: Touchscreen

1. Erforderliche Betätigungskraft

Sehr unangenehm 1 2 3 4 5 6 7 Sehr angenehm nicht zu beantworten

2. Gleichmäßigkeit der Nutzung

Sehr ungleichmäßig 1 2 3 4 5 6 7 Sehr gleichmäßig nicht zu beantworten

3. Erforderliche Anstrengung bei der Nutzung

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Sehr gering nicht zu beantworten

4. Genauigkeit

Sehr ungenau 1 2 3 4 5 6 7 Sehr genau nicht zu beantworten

5. Benutzungsgeschwindigkeit

Nicht akzeptabel 1 2 3 4 5 6 7 Akzeptabel nicht zu beantworten

6. Allgemeine Zufriedenheit

Überhaupt nicht zufrieden stellend 1 2 3 4 5 6 7 Sehr zufrieden stellend nicht zu beantworten

7. Nutzung des Eingabegeräts insgesamt

Sehr schwierig zu benutzen 1 2 3 4 5 6 7 Sehr leicht zu benutzen nicht zu beantworten

8. Ermüdung der Finger

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

9. Ermüdung des Handgelenks

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

10. Ermüdung des Arms

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

11. Ermüdung der Schulter

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

12. Ermüdung des Nackens

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

Teil 2: Trackball

1. Erforderliche Betätigungskraft

Sehr unangenehm 1 2 3 4 5 6 7 Sehr angenehm nicht zu beantworten

2. Gleichmäßigkeit der Nutzung

Sehr ungleichmäßig 1 2 3 4 5 6 7 Sehr gleichmäßig nicht zu beantworten

3. Erforderliche Anstrengung bei der Nutzung

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Sehr gering nicht zu beantworten

4. Genauigkeit

Sehr ungenau 1 2 3 4 5 6 7 Sehr genau nicht zu beantworten

5. Benutzungsgeschwindigkeit

Nicht akzeptabel 1 2 3 4 5 6 7 Akzeptabel nicht zu beantworten

6. Allgemeine Zufriedenheit

Überhaupt nicht zufrieden stellend 1 2 3 4 5 6 7 Sehr zufrieden stellend nicht zu beantworten

7. Nutzung des Eingabegeräts insgesamt

Sehr schwierig zu benutzen 1 2 3 4 5 6 7 Sehr leicht zu benutzen nicht zu beantworten

8. Ermüdung der Finger

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

9. Ermüdung des Handgelenks

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

10. Ermüdung des Arms

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

11. Ermüdung der Schulter

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

12. Ermüdung des Nackens

Sehr hoch 1 2 3 4 5 6 7 Keine nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

Fragebogen PSSUQ (Post Study System Usability Questionnaire)

Instruktion

Dieser Fragebogen gibt Ihnen Gelegenheit, uns Ihre Reaktion auf die Interaktion mit Touchscreen bzw. Trackball mitzuteilen, die Sie eben verwendet haben. Ihre Antworten werden uns helfen zu verstehen, welche Aspekte Ihnen kritisch erscheinen und welche Aspekte Sie überzeugen.

Während Sie die Fragen beantworten, denken Sie möglichst an die Aufgaben, die Sie mit den Schaltflächen bearbeitet haben.

Bitte lesen Sie jede Aussage und geben Sie an, wie stark Sie dieser Aussage zustimmen oder nicht zustimmen, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen. Wenn Sie eine Frage nicht beantworten können oder möchten, kreuzen Sie "nicht zu beantworten" an.

Nachdem Sie diesen Fragebogen ausgefüllt haben, werden wir Ihre Antworten mit Ihnen gemeinsam durchsprechen, um sicher zu stellen, dass wir alle Ihre Stellungnahmen richtig verstanden haben.

Danke!

Teil 1: Touchscreen

1. Overall, I am satisfied with how easy it is to use the touch screen.

Insgesamt bin ich damit zufrieden, wie leicht der Touchscreen zu bedienen ist.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7		nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

2. It was simple to use the touch screen.

Es war einfach, den Touchscreen zu bedienen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7		nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

3. I was able to complete the tasks and scenarios quickly using the touch screen.

Ich konnte Aufgaben und Szenarien schnell mit Hilfe des Touchscreens erledigen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7		nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

4. I felt comfortable using the touch screen.

Ich fühlte mich wohl bei der Bedienung des Touchscreens.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

5. It was easy to learn to use the touch screen.

Die Bedienung des Touchscreens war leicht zu erlernen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

6. I believe I could become productive quickly using the touch screen.

Ich glaube ich könnte den Touchscreen schnell produktiv einsetzen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

7. The interface of the touch screen was pleasant.

Das Interface des Touchscreen war ansprechend.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

8. I liked using the interface of the touch screen.

Ich mochte den Touchscreen als Interface verwenden.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

9. The touch screen has all the functions and capabilities I expect it to have.

Der Touchscreen hat alle Funktionen und Fähigkeiten, die ich erwarte.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

10. Overall, I am satisfied with the touch screen.

Insgesamt bin ich mit dem Touchscreen zufrieden.

Stimme

voll zu

1

2

3

4

5

6

7

Stimme gar

nicht zu

nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

Teil 2: Trackball

1. Overall, I am satisfied with how easy it is to use the track ball.

Insgesamt bin ich damit zufrieden, wie leicht der Track Ball zu bedienen ist.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

2. It was simple to use the track ball.

Es war einfach, den Track Ball zu bedienen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

3. I was able to complete the tasks and scenarios quickly using the track ball.

Ich konnte Aufgaben und Szenarien schnell mit Hilfe des Track Balls erledigen.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

4. I felt comfortable using the track ball.

Ich fühlte mich wohl bei der Bedienung des Track Balls.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

5. It was easy to learn to use the track ball.

Die Bedienung des Track Balls war leicht zu erlernen.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

6. I believe I could become productive quickly using the track ball.

Ich glaube ich könnte den Track Ball schnell produktiv einsetzen.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

7. The interface of the track ball was pleasant.

Das Interface des Track Ball war ansprechend.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

8. I liked using the interface of the track ball.

Ich mochte den Track Ball als Interface verwenden.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

9. The track ball has all the functions and capabilities I expect it to have.

Der Track Ball hat alle Funktionen und Fähigkeiten, die ich erwarte.

Stimme								Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

10. Overall, I am satisfied with the track ball.

Insgesamt bin ich mit dem Track Ball zufrieden.

Stimme									Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	6	7	nicht zu		<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

Fragebogen SUS (System Usability Scale)

Instruktion

Dieser Fragebogen gibt Ihnen Gelegenheit, uns Ihre Reaktion auf die Interaktion mit Touchscreen bzw. Trackball mitzuteilen, die Sie eben verwendet haben. Ihre Antworten werden uns helfen zu verstehen, welche Aspekte Ihnen kritisch erscheinen und welche Aspekte Sie überzeugen.

Während Sie die Fragen beantworten, denken Sie möglichst an die Aufgaben, die Sie mit den Schaltflächen bearbeitet haben.

Bitte lesen Sie jede Aussage und geben Sie an, wie stark Sie dieser Aussage zustimmen oder nicht zustimmen, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen. Wenn Sie eine Frage nicht beantworten können oder möchten, kreuzen Sie "nicht zu beantworten" an.

Nachdem Sie diesen Fragebogen ausgefüllt haben, werden wir Ihre Antworten mit Ihnen gemeinsam durchsprechen, um sicher zu stellen, dass wir alle Ihre Stellungnahmen richtig verstanden haben.

Danke!

Teil 1: Touchscreen

1. I think that I would like to use the touch screen frequently.

Ich denke, ich würde den Touchscreen gerne häufig benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

2. I found the touch screen unnecessarily complex.

Ich finde die Bedienung des Touchscreens unnötig komplex.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

3. I thought the touch screen was easy to use.

Ich finde, der Touchscreen ist einfach zu benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use the touch screen.

Ich denke, ich würde die Unterstützung einer erfahrenen Person brauchen, um in der Lage zu sein, den Touchscreen zu benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

5. I found the various functions of the touch screen were well integrated.

Ich finde, die verschiedenen Funktionen des Touchscreens sind gut integriert.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

6. I thought there was too much inconsistency in the touch screen.

Ich denke, es gibt zu viele Inkonsistenzen bei der Touchscreenbedienung.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

7. I would imagine that most people would learn to use the touch screen very quickly.

Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Leute sehr schnell lernen würden mit dem Touchscreen umzugehen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

8. I found the touch screen very cumbersome to use.

Ich fand den Touchscreen sehr mühsam zu bedienen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

9. I felt very confident using the touch screen.

Ich fühlte mich sehr sicher bei der Benutzung des Touchscreens.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

10. I needed to learn a lot of things before I could get going with the touch screen.

Ich musste eine Menge lernen, bevor ich den Touchscreen benutzen konnte.

Stimme

voll zu

1 2 3 4 5

Stimme gar

nicht zu

nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

Teil 2: Trackball

1. I think that I would like to use the track ball frequently.

Ich denke, ich würde den Track Ball gerne häufig benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

2. I found the track ball unnecessarily complex.

Ich finde die Bedienung des Track Balls unnötig komplex.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

3. I thought the track ball was easy to use.

Ich finde, der Track Ball ist einfach zu benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

4. I think that I would need the support of a technical person to be able to use the track ball.

Ich denke, ich würde die Unterstützung einer erfahrenen Person brauchen, um in der Lage zu sein, den Track Ball zu benutzen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

5. I found the various functions of the track ball were well integrated.

Ich finde, die verschiedenen Funktionen des Track Balls sind gut integriert.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

6. I thought there was too much inconsistency in the track ball.

Ich denke, es gibt zu viele Inkonsistenzen bei der Track Ballbedienung.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

7. I would imagine that most people would learn to use the track ball very quickly.

Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Leute sehr schnell lernen würden mit dem Track Ball um-zugehen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

8. I found the track ball very cumbersome to use.

Ich fand den Track Ball sehr mühsam zu bedienen.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

9. I felt very confident using the track ball.

Ich fühlte mich sehr sicher bei der Benutzung des Track Balls.

Stimme						Stimme gar	nicht zu beantworten
voll zu	1	2	3	4	5	nicht zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

10. I needed to learn a lot of things before I could get going with the track ball.

Ich musste eine Menge lernen, bevor ich den Track Ball benutzen konnte.

Stimme

voll zu

1

2

3

4

5

Stimme gar

nicht zu

nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

PANDIS Usability Fragebogen

Abschließende Erhebung der Nutzerzufriedenheit

Es werden zusammenfassend sämtliche Zeige- und Zusatzaufgaben die im Rahmen der Usability-Untersuchung durchgeführt wurden betrachtet.

Die Fragen beziehen sich auf die Teilaspekte Anthropometrie, Rückmeldung, Größe der Aktivierungsflächen, Repräsentativität der Zeige- und Zusatzaufgaben und Belastungskontext.

1. Die Sitzhaltung im Versuch entspricht der Sitzhaltung im Cockpit.

Stimme gar nicht zu	1	2	3	4	5	Stimme voll zu	nicht zu beantworten <input type="checkbox"/>
--------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	---------------------------	--

Anmerkungen: _____

2. Die Bedienelemente waren im Versuch ohne Zwangshaltung erreichbar.

a) Touchscreen

Stimme gar nicht zu	1	2	3	4	5	Stimme voll zu	nicht zu beantworten <input type="checkbox"/>
--------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	---------------------------	--

Anmerkungen: _____

b) Trackball

Stimme gar nicht zu	1	2	3	4	5	Stimme voll zu	nicht zu beantworten <input type="checkbox"/>
--------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	---------------------------	--

Anmerkungen: _____

c) Tastatur

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

d) Joystick

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

e) Lochbrett der motorischen Zusatzaufgabe

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

3. Der Touchscreen des Großflächendisplays wäre auch im Cockpit ohne das Einnehmen einer Zwangshaltung bedienbar.

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

4. Die Rückmeldung hat mich bei Eingaben angemessen unterstützt.

a) Bei Touchscreen-Eingaben

Aufgabe: Single & Multiple Targets

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

b) Bei Trackball-Eingaben

Aufgabe: Single & Multiple Targets

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

5. Die Größe der Aktivierungsflächen war ausreichend für eine sichere und schnelle Bedienung.

a) Für die Touchscreen-Bedienung:

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

b) Für die Trackball-Bedienung:

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

6. Verglichen mit herkömmlichen Cursor Control Devices in Kampfflugzeugen könnte ein Trackball zu einer Steigerung der Eingabeleistung bei der Cursor Steuerung führen.

Stimme gar						Stimme	nicht zu beantworten
nicht zu	1	2	3	4	5	voll zu	<input type="checkbox"/>

Anmerkungen: _____

7. In den vier bisher bearbeiteten Zeigeaufgaben Single Targets, Multiple Targets, Multiple Targets & Zoom und MFTB wurden unterschiedliche Eingabefunktionen des Touchscreens vorgestellt. Mit diesen Funktionen können die auf den Multifunktionsdisplays vorkommenden Eingabehandlungen herkömmlicher Kampfflugzeuge abgebildet werden.

Stimme gar nicht zu 1 2 3 4 5 Stimme voll zu nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

8. Die Zusatzaufgaben kombinieren visuelle, auditive, kognitive, motorische und verbale Belastung in unterschiedlicher Weise. Der daraus resultierende Belastungskontext entspricht der Belastungssituation im Cockpit.

Stimme gar nicht zu 1 2 3 4 5 Stimme voll zu nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

9. Die komplexe Zusatzaufgabe, bestehend aus Tracking und Readback ist ausreichend realitätsnah gestaltet.

Stimme gar nicht zu 1 2 3 4 5 Stimme voll zu nicht zu beantworten

Anmerkungen: _____

10. Die Belastung der leichten komplexen Zusatzaufgabe entspricht einer

- niedrigen**
- normalen**
- erhöhten**

Belastung im Cockpit.

Anmerkungen: _____

11. Die Belastung der schweren komplexen Zusatzaufgabe entspricht einer

- normalen**
- erhöhten**
- sehr hohen**

Belastung im Cockpit.

Anmerkungen: _____

Erklärung

Die vorliegende Arbeit wurde von mir selbständig verfasst. Die zur Bearbeitung des Themas herangezogenen Quellen, die Literatur und sonstige Hilfsmittel wurden entsprechend gekennzeichnet.

Es wurde von mir noch kein Promotionsversuch, auch nicht an einer anderen Universität, unternommen.

Johannes Kellerer

Freising, den 04.05.2010

Erklärung

Lebenslauf

Name: Johannes Paul Kellerer
Geburtsdatum und -ort: 23.12.1980 in Mainburg i.d. Hallertau
Familienstand: ledig
Email: johannes.kellerer@eads.com

Schulbildung

1987-1991 Grundschule Mainburg
1991-1994 Gabelsberger-Gymnasium Mainburg
1994-2000 Gymnasium der Salesianer Don Bosco's in Buxheim
2000 Allgemeine Hochschulreife

Wehrpflicht

2000-2001 Luftwaffe, Fernmelde-Sektor F, Kötzing

Studium

2001-2006 Luft- und Raumfahrt an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München
Diplomarbeit: Anzeigekonzept für Großflächendisplays in hochagilen Flugzeugen

Beruf

2006-2009 Promotionsstipendium der EADS Deutschland GmbH, Geschäftsbereich Military Air Systems, Abteilung Human Factors Engineering
seit 2009 System-Ingenieur in der Abteilung für Human Factors Engineering der EADS in Manching

Veröffentlichungen

2007 Kellerer, J., Kerschenlohr, S., Neujahr, H. & Sandl, P. (2007). Panoramic Displays - Anzeige- und Bedienkonzept für die nächste Generation von Flugzeugcockpits. *Prospektive Gestaltung von Mensch-Maschine-Interaktion. Reihe 22, Nr. 25*. Düsseldorf: VDI.
2008 Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P. & Klingauf, U. (2008). Panoramic Displays - Anzeige- und Bedienkonzept für die nächste Generation von Flugzeugcockpits. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Bonn: DGLR.

Lebenslauf

Eichinger, A., Kellerer, J., Sandl, P. & Zimmer, A. (2008). Panoramic Displays – Quantitative Evaluation sensomotorischer Aspekte der Bedienleistung. In M. Grandt, & A. Bauch (Hrsg.), *Beiträge der Ergonomie zur Mensch-System-Integration*. Bonn: DGLR.

2009

Kellerer, J., Eichinger, A., Sandl, P. & Klingauf, U. (2009). Panoramic Displays - Usability-Untersuchung eines neuartigen Bedienkonzepts in einem repräsentativen Belastungskontext. In A. Lichtenstein, C. Stöbel, & C. Clemens (Hrsg.), *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. Reihe 22, Nr. 29*. Düsseldorf: VDI.