

Panoramic Displays – Usability-Untersuchung eines neuartigen Bedienkonzepts in einem repräsentativen Belastungskontext

Johannes Kellerer, Armin Eichinger, Peter Sandl und Uwe Klingauf

Schlüsselwörter: Großflächendisplays, Bedienkonzept, Usability, Touchscreen, Belastungskontext

Zusammenfassung

Der Tagungsbeitrag stellt eine Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit vor, in der die Bedienleistung von Touchscreen und Trackball für Großflächendisplays verglichen wird. Durch realitätsnahe Zusatzaufgaben bildet die Versuchsgestaltung das durch Multitasking geprägte Arbeitsumfeld "Cockpit" ab. Die Erhebung der Bedienleistung erfolgt anhand der Usability-Maße Bediengeschwindigkeit und Fehlerrate. Gleichzeitig wird die Leistung in den Zusatzaufgaben "Tracking" und "Readback" dokumentiert. Die Eingabe mit dem Touchscreen basiert im Vergleich zum Trackball auf alltäglichen Handlungsschemata. Es ist daher eine geringere Belegung der Aufmerksamkeitsressourcen und folglich ein Performanzvorteil bei Touchscreen-Eingaben zu erwarten, der sich vor allem in Belastungssituationen, wie sie in Cockpits moderner Flugzeuge auftreten, äußert. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der Performanzvorteil des Touchscreens in Zeige- und Zusatzaufgabe bestätigt. Die Bedienzeit mit dem Touchscreen ist bei niedriger wie auch bei hoher Zusatzbelastung signifikant kürzer als die mit dem Trackball. Ein signifikanter Unterschied der Fehlerhäufigkeit in der Bedienungsaufgabe der beiden Bedienelemente konnte nicht festgestellt werden. Die Auswirkungen des Performanzvorteils des Touchscreens sind ebenfalls im Erfüllungsgrad der Zusatzaufgabe zu erkennen.

This paper presents the results of a usability evaluation, comparing the performance of touch screen and trackball for interaction with a panoramic display. Using realistic additional tasks the evaluation set up represents the multitasking working environment 'fighter aircraft cockpit'. Interaction performance is investigated by means of the usability metrics interaction speed and error rate. Simultaneously the performance in the additional tasks 'tracking' and 'readback' is documented. Unlike the trackball, touch screen interaction is based upon everyday activity patterns. Thus lower consumption of attentional resources and consequently performance advantages of touch screen interaction is expected, particularly in high workload situations as occur in fighter aircraft cockpits. Within this evaluation the performance advantage of touch screens for panoramic display interaction was confirmed. Compared to the trackball touch screen interaction times are significantly shorter. That applies for low as well as for high task load situations. A significant difference of error rates between trackball and touch screen interaction could not be found. The performance advantage of the touch screen had also a significant impact on the completion level of the additional tasks.

Einleitung

Die Arbeit von Kampfflugzeugpiloten ist durch außerordentlich hohe physische und psychische Belastung geprägt, die sich aus der Flugzeugdynamik, den Missionsanforderungen und dem taktischen Szenario ergibt. Der Pilot ist gezwungen weitreichende Entscheidungen innerhalb kürzester Zeit zu treffen und auszuführen. Aus diesem Grund muss er relevante Einzelinformationen sowie die Zusammenhänge des Gesamtsystems schnell, sicher und eindeutig wahrnehmen und verstehen um entsprechend darauf reagieren können.

Um die Fähigkeiten militärischer Flugzeugmuster den aktuellen Bedürfnissen anzupassen, sind ständige Erweiterungen von Funktionsumfang und Einsatzspektrum notwendig. Die Integration zusätzlicher Funktionalität darf bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsfähigkeit des

Gesamtsystems Pilot-Flugzeug die Beanspruchung des Piloten allerdings nicht erhöhen. Das Anzeige- und Bedienkonzept des Cockpits muss also entsprechend angepasst werden.

Das Forschungsvorhaben Panoramic Displays der EADS Military Air Systems beschäftigt sich mit der Verwendung großflächiger Anzeigen im Bereich des Hauptinstrumentenbretts moderner Kampfflugzeuge, wobei besonderes Augenmerk auf die nutzerorientierte Gestaltung von Anzeige und Bedienung gelegt wird. Um die Qualität dieser im Flugzeug neuartigen Form der Anzeige und Bedienung beurteilen zu können, werden eingehende Untersuchungen hinsichtlich Situationsbewusstsein und Usability durchgeführt.

Interaktion mit Großflächendisplays in hochdynamischen Flugzeugen

Im Rahmen des Projekts *Panoramic Displays* wurde ein Anzeige- und Bedienkonzept erstellt, welches sich durch eine adaptive Konfiguration der Displayinhalte auszeichnet. Die mit diesem Konzept erreichte Flexibilität stellt bestimmte Anforderungen an die einsetzbaren Bedienmittel, was zu einer Ablösung der herkömmlichen Bedienelemente (z.B. Drehregler und Druckschalter) durch Cursor Control Elemente (vgl. Kellerer et al., 2008) führt. Cursor Control Elemente können grundsätzlich in direkt und indirekt wirkende Eingabeelementen eingeteilt werden (Krauß, 1999). Repräsentative Vertreter dieser beiden Gruppen sind aufgrund ihrer vergleichsweise hohen Bediengeschwindigkeit und Genauigkeit nach Boff & Lincoln (1983) der Touchscreen als direktes und der Trackball als indirektes Eingabeelement (vgl. Boff & Lincoln, 1983, Rühmann, 1985, Eichinger et al., 2008).

Hypothese

Die Interaktion mit dem Touchscreen basiert auf Handlungsschemata und mentalen Modellen, die vom Menschen im Alltag erlernt wurden und dort in Gebrauch sind (vgl. Wickens & Hollands, 2000). Die Handlungsausführung mit Hilfe einer direkten manuellen Eingabehandlung wird vom Menschen instinktiv durchgeführt. Es handelt sich hierbei um fertigkeitbasiertes und hoch automatisiertes Verhalten, welches das Arbeitsgedächtnis nur in sehr geringem Maße beansprucht und dadurch mentale Ressourcen für weitere, simultan zu erfüllende Aufgaben freihält (vgl. Rasmussen, 1994).

Die Interaktion mit dem Trackball kann zunächst nicht von alltäglichen Handlungen abgeleitet werden. Es benötigt Training, um die Bewegungsgesetze der Cursorpositionierung mit Hilfe eines Trackballs zu erlernen und die Bildung eines Handlungsschemas im Langzeitgedächtnis zu unterstützen. Dies bedeutet wiederum, dass in diesem Fall eine erheblich größere Belastung des Arbeitsgedächtnisses, der zentralen Exekutive und des episodischen Puffers auftritt, als es bei der Touchscreen-Bedienung der Fall ist (vgl. Baddeley, 2000). Es stehen folglich weniger mentale Ressourcen zu Verfügung, was sich insbesondere bei höherer Belastung auswirkt.

Es ist daher zu erwarten, dass mit dem Touchscreen höhere Bedienleistungen bei Eingabehandlungen erreicht werden als mit dem Trackball. Dies gilt vor allem bei hoher bis sehr hoher Belastung.

Methode

Bei der Auswahl eines Eingabeelementes für Großflächendisplays im Cockpit ist folglich der Belastungskontext des Piloten zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Usability-Untersuchung soll der Belastungskontext durch eine primäre Zeigeaufgabe und durch repräsentative Zusatzaufgaben abgebildet werden, die gleichzeitig bearbeitet werden müssen.

Primäre Zeigeaufgabe

Die Beurteilung der Bedienleistung, die mit den beiden Interaktionselementen erreicht wird, erfolgt mit Hilfe von Zeigeaufgaben auf dem Großflächendisplay. Durch unterschiedliche Konfigurationen der Ziele werden repräsentative Eingaben in Kampfflugzeugen abgebildet. Die Ziele bestehen aus Symbolen und Aktivierungsflächen. Die Aktivierungsflächen sind entsprechend einer Empfehlung von Eichinger et al. (2008) in allen Versuchen gleich gestaltet. Sie sind quadratisch und haben eine Seitenlänge von 17 mm. Die Zielsymbole und die Distraktoren sind ebenfalls quadratisch mit einer Kantenlänge von 7 mm.

Versuch 1 - Single Targets (ST)

Die Zeigeaufgabe *Single Targets* ist eine standardisierte Zeigeaufgabe zur Erhebung der mit den beiden Bedienelementen erreichbaren Bedienleistung für die Anwahl einfacher Ziele ohne Distraktor-Reize. Die Ziele erscheinen einzeln in einem zeitlichen Abstand von 6 sec. Die zeitliche Staffelung der Zieldarstellung legt die gleiche Abfolge der Zeigeaufgabe für alle Versuchspersonen fest, unabhängig von der individuellen Eingabeleistung und der Beanspruchung der Probanden durch den Belastungskontext. Es wird eine Folge von 15 Zielen dargestellt. Die Versuchspersonen werden angewiesen die Ziele möglichst schnell und genau anzuwählen.

Versuch 2 - Multiple & Moving Targets (MT)

Die Zeigeaufgabe *Multiple & Moving Targets* berücksichtigt, dass in der Realität auch mehrere statische und bewegliche Ziele vorkommen können. Während eines Versuchsdurchgangs werden gleichzeitig drei rote (anwählbare Ziele) und zehn blaue (Distraktoren) Symbole dargestellt, wovon sich ein Ziel und zwei Distraktoren auf dem Display bewegen. Der Versuchsteilnehmer hat die Aufgabe, alle roten Ziele möglichst schnell und genau anzuwählen. Nach erfolgreicher Auswahl wird das jeweilige Zielelement ausgeblendet. Alle 10 sec werden die dargestellten Elemente aus- und eine neue Elementkonfiguration wieder eingeblendet.

Zusatzaufgabe

Die Auswahl der Zusatzaufgaben orientiert sich an den unterschiedlichen Aspekten der menschlichen Informationsverarbeitung (vgl. Wickens & Hollands, 2000). Von diesen Aspekten lassen sich die Belastungsdimensionen visuell, auditiv, kognitiv, motorisch und verbal ableiten. Wie in Vorversuchen ermittelt, zeichnet sich die Belastung im Cockpit durch hohe visuelle, kognitive und motorische Anteile aus, während auditive und verbale Belastung nur in geringem Maße auftritt. Diese Belastungsarten werden durch zusätzliche Tracking- und Readback-Aufgaben abgebildet.

Die Tracking-Aufgabe wurde als Kompensationsaufgabe konstruiert und kombiniert kontinuierliche visuelle und motorische Belastung (vgl. Wickens & Hollands, 2000). Der Proband wird angewiesen mit Hilfe eines Joysticks ein im Head Up Bereich dargestelltes Fadenkreuz in der Bildschirmmitte zu halten. Die Schwierigkeit der Tracking-Aufgabe wird durch zwei verschiedene Ablenkgeschwindigkeiten des Fadenkreuzes variiert (hohe/niedrige Dynamik).

Die Readback-Aufgabe erzeugt auditive Belastung durch Abspielen einer Folge von Zahlen. Kognitive und verbale Belastung wird dadurch hervorgerufen, dass sich der Proband die Zahlen merken und in umgekehrter Reihenfolge wiedergeben muss. Die Schwierigkeit der Readback-Aufgabe wurde für einen niedrigen Belastungskontext mit vier, für den hohen mit sechs Zahlen festgelegt.

Die Zusatzaufgabe wird in zwei Schwierigkeitsstufen präsentiert, nämlich niedrige Dynamik kombiniert mit vier Zahlen und hohe Dynamik kombiniert mit sechs Zahlen. Diese Variation der Schwierigkeit der Zusatzaufgaben ermöglicht eine repräsentative Abbildung der Belastungsstruktur in Cockpits moderner Kampfflugzeuge.

Die Versuchsteilnehmer werden vor jedem Durchgang instruiert, welches Eingabegerät zu verwenden ist, worin die Zeigeaufgabe besteht und welche Zusatzaufgabe bewältigt werden muss. Die Zeigeaufgabe ist stets mit der linken Hand durchzuführen. Die Aufgaben wurden so kombiniert, dass sich reproduzier- und klassifizierbare Versuchsdurchläufe mit einer eindeutigen Zuordnung der Bedienleistung zu Eingabegerät und Belastungskontext ergaben. Um Trainings- und Ermüdungseffekte auszugleichen, wurde die Reihenfolge der Kombinationen für jeden Versuchsteilnehmer randomisiert. Die Dauer eines Versuchsdurchlaufs wurde mit 90 sec festgelegt.

Ergebnisse

Die statistische Prüfung des erwarteten Performanzvorteils erfolgt durch Signifikanztests. Die unabhängige Variable dieser Untersuchung ist das Bediengerät in den Ausprägungen Touchscreen und Trackball. Die Wirkung der Variation des Bediengeräts wird durch die abhängigen Variablen Bediengeschwindigkeit und Genauigkeit abgebildet. Die Analyse der Daten findet anhand von T-Tests für abhängige Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ statt (vgl. Bortz & Döring, 2005). An den Tests nahmen $N=9$ männliche Testpiloten der EADS im Alter von 28 bis 52 Jahren teil. Die Flugerfahrung auf modernen Kampfflugzeugen der Stichprobe beträgt durchschnittlich 1800 Stunden ($sd=251$). Der kritische T-Wert beträgt folglich $T(krit)=2,306$.

Leistungsdaten Zeigeaufgabe

Die Bediengeschwindigkeit bei der Zeigeaufgabe wird durch die Zeit zwischen dem Einblenden der Zielreize und deren erfolgreicher Anwahl bestimmt (vgl. Abb. 1). Die Genauigkeit wird durch die Anzahl der Fehler erhoben. Als Fehler werden Eingaben gewertet, in denen das Ziel nicht getroffen wurde.

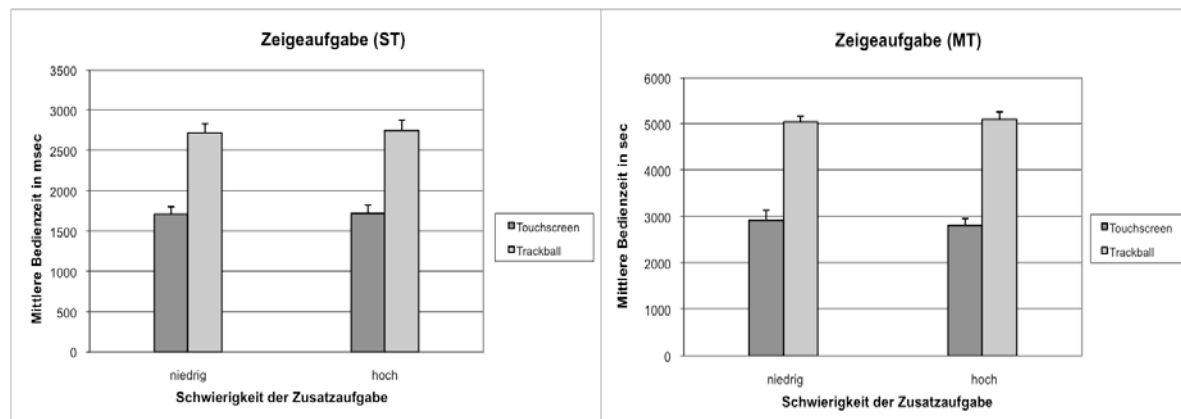


Abb. 1: Mittlere Bedienzeiten in msec in der Zeigeaufgabe ST (links) für ein Ziel und MT (rechts) für drei Ziele in Abhängigkeit von Bedienelement und der Schwierigkeit der Zusatzaufgabe mit Angabe des Standardfehlers.

Signifikante Unterschiede der Bedienzeiten für Touchscreen und Trackball konnten in beiden Versuchen (ST bzw. MT) und in beiden Schwierigkeitsstufen nachgewiesen werden (niedrige Stufe: ST: $T(8)=7.49$, $p<.001$, $\epsilon'=3.53$; MT: $T(8)=8.17$, $p<.001$, $\epsilon'=3.85$; hohe Stufe: ST: $T(8)=9.71$, $p<.001$, $\epsilon'=4.58$; MT: $T(8)=16.07$, $p<.001$, $\epsilon'=7.58$). Der Unterschied der Fehlerraten war in beiden Versuchen nicht signifikant (ST: $T(8)=0.89$, $p=.199$, $\epsilon'=0.42$; MT: $T(8)=0.40$, $p=.349$, $\epsilon'=0.19$).

Kombinierte Leistungsdaten

Die Leistungsdaten der Zusatzaufgabe setzen sich aus dem Erfüllungsgrad von Tracking- und Readback-Aufgabe zusammen. In der Tracking-Aufgabe wurde die mittlere Abweichung von Soll- und Ist-Zustand erhoben (vgl. Abb. 3). Der Erfüllungsgrad der Readback-Aufgabe wurde durch die Anzahl der richtig wiederholten invertierten Zahlensequenzen bestimmt (vgl. Abb. 2).

Bei der Readback-Aufgabe kann - bis auf eine Ausnahme - kein signifikanter Unterschied im Erfüllungsgrad in Abhängigkeit vom Bediengerät festgestellt werden, weder bei niedriger Schwierigkeit der Zusatzaufgabe (ST: $T(8)=0.50$, $p=.316$, $\epsilon'=0.23$; MT: $T(8)=1.09$, $p=.153$, $\epsilon'=0.52$), noch bei hoher Schwierigkeit (ST: $T(8)=1.81$, $p=.054$, $\epsilon'=0.85$; MT: $T(8)=3.64$, $p=.0033$, $\epsilon'=1.71$).

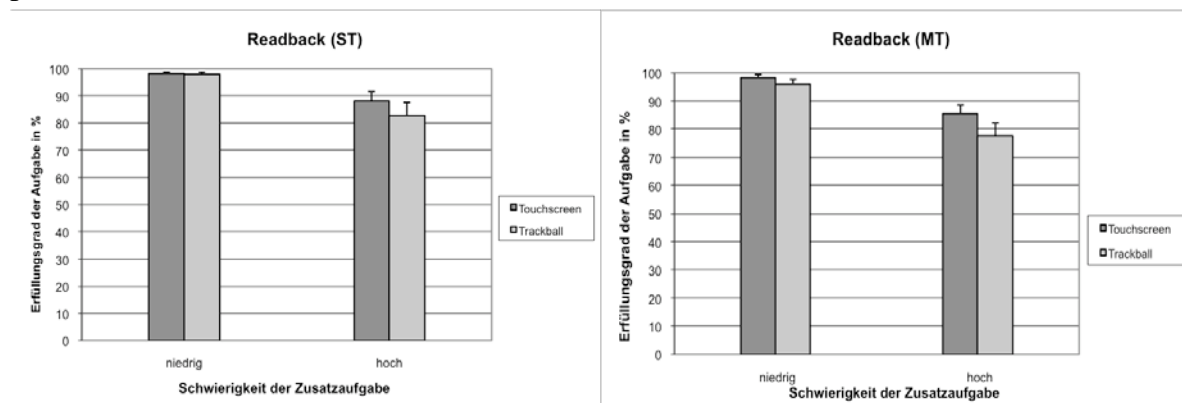


Abb. 2: Erfüllungsgrad der Readback-Aufgabe in Abhängigkeit von Bedienelement und Schwierigkeit der Zusatzaufgabe mit Angabe des Standardfehlers.

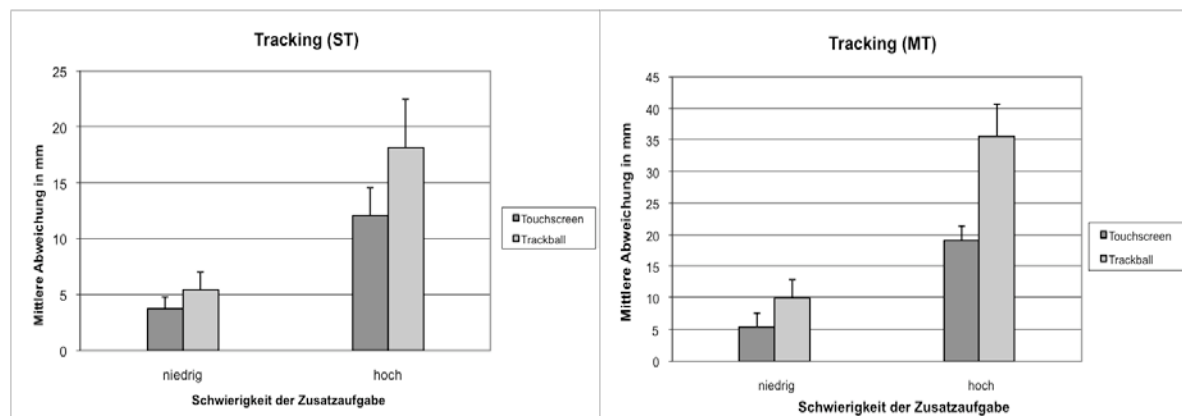


Abb. 3: Erfüllungsgrad der Tracking-Aufgabe in Abhängigkeit von Bedienelement und Schwierigkeit der Zusatzaufgabe mit Angabe des Standardfehlers.

Der Einfluss des Bedienelements macht sich dagegen in der Tracking-Aufgabe deutlich bemerkbar. Die mittlere Abweichung von Soll- und Ist-Zustand der Kompensationsaufgabe ist bei Touchscreen-Bedienung signifikant geringer als bei Interaktion über Trackball. Dies gilt für den niedrigen (ST: $T(8)=3.15$, $p<0,05$, $\epsilon'=1.49$; MT: $T(8)=7.81$, $p<.001$, $\epsilon'=3.68$) wie für den hohen (ST: $T(8)=5.51$, $p<.001$, $\epsilon'=2.60$; MT: $T(8)=3.73$, $p<0,05$, $\epsilon'=1.76$) Belastungskontext.

Diskussion und Folgerungen

Die Ergebnisse der statistischen Analyse der erhobenen Leistungsdaten bestätigen den erwarteten Performanzvorteil des Touchscreens gegenüber dem Trackball. Der Unterschied der Bedienleistung der Eingabegeräte ist in beiden Zeigaufgaben erheblich, vor allem im Szenario

Multiple & Moving Target. Ein signifikanter Unterschied in der Fehlerhäufigkeit ist dagegen nicht zu belegen. Der Zugewinn an Bediengeschwindigkeit durch den Touchscreen bedingt also für die hier untersuchten Eingabehandlungen keine Beeinträchtigung der Fehlerhäufigkeit.

Betrachtet man die Leistungsdaten der Zusatzaufgabe in Abhängigkeit von ihrer Schwierigkeit und vom verwendeten Eingabegerät, so kann die Güte der Unterstützung des Eingabegeräts auf die Leistung der Zusatzaufgabe festgestellt werden. Die Wahl des Bediengeräts wirkt sich hypothesenkonform signifikant auf die Leistung in der Tracking-Aufgabe aus. Zudem nimmt der absolute Unterschied der Leistung bei der Tracking-Aufgabe mit steigender Belastung zu, wenn man Touchscreen- und Trackball-Interaktion vergleicht. Der Einsatz des Touchscreens führt zu einer geringeren Abnahme der Leistung als die Verwendung des Trackballs.

Eine Auswirkung des Bediengeräts auf den Erfüllungsgrad der Readback-Aufgabe ist nicht in gleicher Weise wie in der Tracking-Aufgabe festzustellen. Dies lässt sich auf unterschiedliche Belastungsdimensionen der Readback- und Zeigeaufgabe zurückführen.

Der sich durch die Wahl des Bedienelements ergebende Leistungsunterschied in der Zusatzaufgabe gilt demnach nicht allgemein, sondern ist abhängig von der Art der Zusatzaufgabe und der benötigten Aufmerksamkeitsressourcen.

Diese Abhängigkeit könnte in weiterführenden Untersuchungen durch die Verwendung ein-dimensionaler Zusatzaufgaben erhoben werden.

Literatur

- Baddeley, A. (2000). The episodic Buffer: A new component of working memory?, *Trends in Cognitive Sciences – Vol. 4, No. 11*.
- Boff, K. & Lincoln, J. (1983). Comparison of Cursor Control Devices. In K. Boff & J. Lincoln (Hrsg.), *Engineering Data Compendium: Human Perception and Performance* (S. 2492-2495). New York: John Wiley and Sons.
- Bortz, J. & Döring, N. (2005). *Forschungsmethoden und Evaluation*, Heidelberg, Springer.
- 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.
- 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.
- Krauß, L. (1999). Hardwaretrends bei Bediensystemen in der Produktionstechnik - Alternative Interaktionsformen, *VDI Berichte Nr. 1498*.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*, New York: John Wiley and Sons.
- Rühmann, H. (1985). Die Schwingungsbelastung in Mensch-Maschine-Systemen, Institut für Ergonomie, Technische Universität München, Habilitationsschrift.
- Wickens, C.D. & Hollands, J.G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*, New York, Upper Saddle River: Prentice Hall.