

Benutzerzentrierte Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für komplexe Führungssysteme schwimmender Plattformen - Effizienz von Bedienalternativen großflächiger Anzeigegeräte

Enrico Tappert, Annette Kaster, Christoph Ruckert und Morten Grandt

Schlüsselwörter: Arbeitsplatzgestaltung, Benutzungsschnittstellen, Interaktionsmethoden, Large-Screen-Display

Zusammenfassung

Der Einsatz großflächiger Anzeigegeräte für Benutzungsschnittstellen erfordert eine ergonomische Bewertung sowohl heute eingeführter als auch innovativer Bedienkonzepte. Die benutzerzentrierte Gestaltung von Anzeige- und Bedienkonzepten für Führungssysteme schwimmender Plattformen unterliegt aufgrund der zeit- und sicherheitskritischen Aufgaben hohen Anforderungen in Hinblick auf Bedienerleistung und das resultierende Situationsbewusstsein des Operateurs. Der Beitrag fokussiert auf die ergonomische Bewertung von Bedienkonzepten auf der Basis von PC-Mäusen. Im Vergleich dazu wird die Mensch-Computer-Interaktion mit Touch-Input-Devices und Hardware-Eingabeelementen bewertet. Besonderes Augenmerk liegt dabei zum einen auf der Bedienerleistung, zum anderen auf der unterbrechungsfreien Wahrnehmbarkeit von Informationen.

Abstract

The application of Large-Screen-Displays (LSD) requires an ergonomic evaluation of both ordinary and innovative input devices in order to provide an efficient user-system interaction. The user-centered development of HMI concepts for command and control systems of naval platforms with time and safety critical tasks are subject to unique requirements with respect to operator performance and situation awareness. The paper describes the ergonomic evaluation of mouse-based interaction methods. These are compared to the human-computer interaction using Touch-Input-Devices and keypads. Particular attention is given to the operator performance on the one side and the accessibility of situation data on the other.

Einleitung

Die heute auf schwimmenden Plattformen, also Schiffen und Booten, der Deutschen Marine eingesetzten Führungssysteme stellen die Operateure auch in Bezug auf die Bedienprozesse vor hohe Anforderungen. Aus heutiger Sicht war der Gestaltungsspielraum im Hinblick auf Anzeige- und Bedienkonzepte für das human-machine interface (HMI) durch technologische Restriktionen einerseits und eine häufig technikzentrierte Vorgehensweise andererseits in der Vergangenheit deutlich eingeengt. So gewährt z.B. die vorrangig textuelle Anzeige komplexer, dynamischer Information eine nur eingeschränkte Unterstützung der beim Operateur verankerten mentalen Modelle. Die Bedienung heutiger Benutzungsschnittstellen findet sowohl über die Cursorsteuerung als auch über in der Umgebung des üblicherweise zentral platzierten Bildschirms angeordnete (Hardware-) Taster/Schalter und/oder programmierbare Tastenfelder (Softkeys) statt. Zur Steuerung des Cursors werden auf konventionellen schwimmenden Plattformen in die Konsole integrierte Rollbälle verwendet.

Um in den mittlerweile sehr komplexen Einsatzszenarien der Streitkräfte die Gebrauchstauglichkeit von Führungssystemen sicherzustellen, hat die benutzerzentrierte Gestaltung zukünftiger Führungssysteme bei der Deutschen Marine wesentlich an Bedeutung gewonnen. Gleichzeitig haben sich die technologischen Möglichkeiten in Bezug auf innovative Anzeige- und

Bedienkonzepte für Benutzungsschnittstellen deutlich erweitert. Die beim FGAN-FKIE entwickelten Konzepte für Führungs- und Einsatzsysteme folgen demzufolge dem Ansatz einer zum mentalen Modell des Operators kompatiblen graphischen Visualisierung von Informationen (Grandt & Ley, 2008; Witt et al., 2009). Das basierend auf diesem Ansatz entwickelte HMI-Konzept für ein zukünftiges Führungssystem sieht ein 30-Zoll Large-Screen-Display (LSD) mit einer Auflösung von 2560x1600 Pixel als zentrale Anzeigekomponente vor (Kaster et al., 2008). Da im Rahmen der Lagefeststellung und -beurteilung vom Operateur eine Vielzahl von System- und Umweltinformationen zu berücksichtigen ist, verspricht die großflächige Anzeige im Vergleich zu eingeführten Systemen eine deutliche Verbesserung in Bezug auf das Situationsbewusstsein des Operateurs.

Bedienkonzepte für Large-Screen-Displays

Die Nutzung großformatiger Anzeigen in zukünftigen Führungssystemen wirft einige Fragen auf, die bei der ergonomischen Gestaltung von Benutzungsschnittstellen von Bedeutung sind.

So ist zunächst zu prüfen, ob Bedienfunktionen, die bei konventionellen Systemen Hard- oder Softkeys zugeordnet werden, zukünftig vermehrt software-technisch in Form von GUI-Schaltflächen abgebildet werden können. Dies trägt den vergrößerten Bildschirmformaten insofern Rechnung, als dass die Erreichbarkeit seitlich angeordneter Hard- und Softkeys vermindert ist. Demgegenüber wird als Vorteil der Nutzung von Hard- und Softkeys für häufig verwendete Bedienfunktionen auch seitens der Benutzer häufig angeführt, dass sie bei günstiger räumlicher Anordnung eine sehr schnelle Bedienung ermöglichen und die Trennung zwischen Anzeigeelementen im GUI und Eingabeelementen am Rand des Bildschirms die Übersichtlichkeit erhöht. Eine weitere Möglichkeit stellt der Einsatz von Softkeys dar, die abgesetzt vom Bildschirm z.B. auf einem Touch Input Device im Griffbereich des Operateurs angeordnet werden.

Mit Bezug auf die Nutzung von Schaltflächen ist darüber hinaus zu klären, welches Eingabegerät für die Steuerung des Cursors geeignet ist. Während sich bei konventionellen Bildschirmformaten in Verbindung mit Hard- und/oder Softkeys die Steuerung mittels Rollball bewährt hat, ist fraglich, ob die bei Nutzung von Large-Screen-Displays und GUI-integrierten Schaltflächen resultierenden Rollwege und somit Bearbeitungsdauern noch akzeptabel sind.

Concejero et al. (1995) beschreiben einen experimentellen Vergleich der Eingabemedien Ziffernblock, Maus und berührungempfindlicher Bildschirm für die Eingabe von Telefonnummern. Die kürzesten Durchführungszeiten wurden bei Bedienung des Ziffernblocks erzielt, das langsamste Eingabemedium war die Maus. Letztere führte allerdings zu den wenigsten Fehlern, wobei die Bedienung des berührungempfindlichen Bildschirms die höchste Fehlerrate aufwies. Karat et al. (1984) untersuchten die Auswahltechniken für die Eingabegeräte Tastatur, Berührungsbildschirm und Maus in einer Anwendung, bei der ein zufällig erscheinendes Ziel auf dem Bildschirm auszuwählen war und eine Funktion zu initiieren war. Hier präferierten die Probanden die Tastatur gegenüber dem berührungempfindlichen Bildschirm und sehr deutlich diese beiden Eingabemedien gegenüber der Maus. Die Durchführungszeiten zeigten einen signifikanten Vorteil des berührungempfindlichen Bildschirms gegenüber der Maus, keine signifikanten Unterschiede zwischen Tastatur und Maus bzw. berührungempfindlichem Bildschirm, wobei die Maus eindeutig das langsamste Eingabemedium darstellte. Beide vorgenannten Untersuchungen zeigen, dass sowohl die subjektive Präferenz als auch die objektive Leistung sehr stark vom Bekanntheitsgrad des jeweiligen Eingabegerätes abhängig sind, was auch durch umfangreiche Trainingsläufe nicht zu eliminieren ist. Die Maus war für alle Probanden das am wenigsten bekannte Eingabegerät. Heutzutage ist allerdings zu erwarten, dass der Umgang mit der Maus nahezu jedem bekannt ist.

Bei der vergleichenden experimentellen Bewertung einer konventionellen Computermaus, zwei verschiedenartigen Rollkugeln, eines berührungempfindlichen Bildschirms sowie eines Spracheingabesystem wurden Bearbeitungszeiten, die Bearbeitungsgenauigkeit und die subjek-

tive Beanspruchung untersucht (Pfundler et al., 2002). Ferner wurden Kontextmenüs (auch Popup-Menüs) und konventionelle, am Bildschirmrand angeordnete Schaltflächen miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass Touch Input und Maus die kürzesten Bearbeitungszeiten aufweisen, während die Spracheingabe und die Rollkugeln am anderen Ende der Rangreihe liegen. Ferner wurden mit den Schaltflächen kürzere Bearbeitungszeiten als mit Kontextmenüs erzielt. Die Beanspruchungsdaten waren überwiegend konsistent mit den Leistungsdaten, abgesehen von der Spracheingabe mit einer sehr niedrigen Beanspruchungsbewertung. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist die PC-Maus den Rollbällen in Bezug auf die Intuitivität und Geschwindigkeit deutlich überlegen. Rollbälle bieten allerdings den Vorteil, dass sie durch Plattformbewegungen nicht beeinflusst werden. Um ein Verrutschen der Maus bei bewegter Plattform zu verhindern, werden momentan Mäuse entwickelt, die permanent- oder elektromagnetisch auf der Konsolenoberfläche fixiert werden.

Methodik

In Bezug den oben beschriebenen Fragenkomplex soll die Bedienbarkeit von GUI-integrierten Schaltflächen, Softkeys auf einem Touch Input Device und Hardkeys vergleichend in Bezug auf die Bedienerleistung bewertet werden.

Eine wesentliche Anforderung von Führungssystemen ist die ständige Sichtbarkeit des Lagebildes (Tactical Display Area - TDA). Bei Large-Screen-Displays liegen Schaltflächen am Bildschirmrand sowie seitlich oder unterhalb des Bildschirms angeordneten Hard- oder Softkeys unter Umständen außerhalb des fovealen Blickfeldes des Operateurs. Blickabwendungen von der TDA können folglich nicht ausgeschlossen werden. Die Verwendung von Kontextmenüs, welche üblicherweise nach Betätigen der rechten Maustaste direkt an dem zu bearbeitenden Objekt eingeblendet werden, steht im Widerspruch zur geforderten ständigen Sichtbarkeit aller Objekte der TDA. Da sie jedoch keine Blickabwendung provozieren, ist die bei der Bearbeitung stattfindende Verdeckung möglicherweise kürzer ausgeprägt als die Blickabwendung bei der Betätigung von Schaltflächen oder Hard-/Softkeys. Ebenso kann möglicherweise durch ein automatisches Positionieren des Cursors auf dem Schaltflächenfeld nach Auswahl eines Lagebild-Objektes eine Reduktion der Blickabwendungsdauer erreicht werden. Diese beiden Varianten werden deshalb ebenfalls in die Untersuchung einbezogen. Als zusätzliches Bewertungskriterium ergibt sich diesbezüglich die Blickabwendungsdauer, bei Kontextmenüs die Dauer der Einblendung über der TDA.

Bei der kombinierten Nutzung eines handgeführten Eingabegerätes (PC-Maus) einerseits und Hard- oder Softkeys andererseits ergibt sich eine weitere Gestaltungsdimension in Bezug auf die räumliche Anordnung beider Eingabeeinheiten zueinander. Zu untersuchen ist, ob eine auf den Benutzer anpassbare Gestaltung (z.B. durch rechts/links positionierbare Eingabegeräte) erforderlich ist. Hierbei ist u.a. die motorische Dominanz der Benutzer (Links-/Rechtshändigkeit) als auch die motorische Leistungsfähigkeit unter Gebrauch der nicht-dominanten Hand von Bedeutung.

Versuchsaufbau und -ablauf

Der Versuchsaufbau bestand aus einem 30-Zoll LSD mit einem zentralen Symbol-Darstellungsbereich (TDA). Als Interaktionsgeräte wurden eine PC-Maus, ein Toughbook zur Darstellung und Bedienung von Softkeys sowie ein Tastenblock verwendet.

Die Aufgabe der Probanden (Pb) bestand darin, mit der Maus ein zufällig auf der TDA erscheinendes Symbol anzuwählen. Die Symbole wurden zufällig aus der Kombination einer von drei unterschiedlichen Formenstufen und einer von drei unterschiedlichen Farben ausgewählt. Nach Anwahl des Symbols in der TDA musste das identische Symbol je nach Eingabevariante an anderer Stelle ausgewählt und per Klick bzw. Tastendruck bestätigt werden:

- per Maus auf einem Schaltflächenfeld am unteren Bildschirmrand, wobei die Maus manuell zum Schaltflächenfeld geführt werden musste,
- per Maus auf einem Schaltflächenfeld am unteren Bildschirmrand, wobei die Maus nach Anwahl des Symbols im Darstellungsbereich automatisch zum Schaltflächenfeld geführt wurde,
- per Maus auf einem Kontextmenü, welches nach Anwahl des Symbols und Betätigen der rechten Maustaste im Darstellungsbereich eingeblendet wurde,
- per auf dem Touch Input Device des Toughbook dargestellten Schaltflächen (das Toughbook lag auf der Arbeitsfläche zwischen Proband und Bildschirm),
- per Tastenblock (kommerziell verfügbare Zifferntastatur), dessen Tasten mit entsprechenden Symbolen beklebt waren.

Das ToughBook und der Tastenblock wurde jeweils links, mittig und rechts angeordnet. Die Maus konnte vom Probanden mit der präferierten Hand bedient werden und wurde entsprechend seitlich links oder rechts positioniert.

Ein Versuchsdurchlauf beinhaltete die Bearbeitung von 36 Symbolen in jeder der Kombinationen [Eingabegerät] x [Touch Input / Tastenblock: Position links/mittig/rechts] bzw. [Maus: manuell / automatischer Cursorsprung / Kontextmenü]. Jeder Pb führte die Aufgabe unter allen Versuchsbedingungen durch. Reihenfolgeeffekte wurden durch die variierende Abfolge der Versuchsdurchläufe vermieden. Für die statistische Auswertung ergibt sich danach ein Messwiederholdesign.

Als unabhängige Variable ergibt sich zunächst das verwendete Eingabegerät (3 Stufen: Maus / Touch Input Display / Tastenblock).

Bei Nutzung der Maus ergibt sich im Weiteren die Aktivierungsmethode (manuelle Führung zur Schaltfläche / automatische Führung zur Schaltfläche / Kontextmenü).

Bei Verwendung des Touch Input Displays und des Tastenblocks stellt die Position des Eingabegeräts (auf der motorisch dominanten Seite / mittig / auf der motorisch nicht dominanten Seite) ein weitere unabhängige Variable dar.

Als abhängige Variable wurde die Bearbeitungsdauer erfasst. Im Weiteren wurde mittels Blickbewegungsmessung (SmartEye) die Dauer der Blickabwendung von der TDA ermittelt. Ferner wurde die Einblendungsdauer des Kontextmenüs erfasst. Der größere Wert aus Blickabwendungsdauer und Einblendungsdauer definiert die Informationsverdeckungszeit.

In einem Vorversuch wurde bestimmt, wie umfangreich ein Training pro Interaktionsmethode jeweils gestaltet sein muss. Auf Basis der identifizierten Grenzwerte, ab denen keine signifikanten Änderungen in der Durchführungsgeschwindigkeit mehr festgestellt wurden, ergab sich ein Trainingsaufwand von etwa 40 Symbolzuordnungen. Festgelegt wurde das Training auf 45 Zuordnungen je Eingabegerät. Am Hauptversuch nahmen 24 Probanden (9w, 15m; zwischen 19 und 52 Jahren) teil. Er umfasste die Trainingsphase und die anschließende Testphase mit Zuordnung von jeweils 36 Symbolen (jedes Symbol vier Mal) pro Versuchsbedingung.

Ergebnisse

Nach der in Abb. 1 (links) aufgetragenen mittleren Bearbeitungsdauer (Zeitbedarf für die Bearbeitung eines Symbols) ergeben sich statistisch signifikante Unterschiede bei Verwendung von Hardkeys (Tastenblock), Softkeys (Touch Input Device) und GUI-integrierten Schaltflächen, die mit der Maus aktiviert werden ($F_{4,92}=83.528$; $p<.05$). Die post-hoc durchgeführten paarweisen Mittelwertvergleiche weisen mit Ausnahme der Differenz zwischen Maus und Maus-Sprungfunktion auf signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Verfahren hin. So lässt sich die Bearbeitungszeit durch den Einsatz von Hard- oder Softkeys um bis zu 500 ms reduzieren.

Wie oben erwähnt spielt die unterbrechungsfreie Wahrnehmbarkeit von Information bei der Lagebeobachtung an militärischen Führungssystemen eine bedeutende Rolle. Die Wahrnehmung von Information wurde hier zum einen durch die bei Large-Screen-Displays besonders stark ausgeprägte Blickabwendung bei Bedienung am Rand angeordneter Eingabelemente, zum anderen durch eine Überlagerung mit einem Kontextmenü zeitweise unterbrochen. Abb. 1 (rechts) verdeutlicht den dabei resultierenden Zeitraum, während dessen der Proband keine Lageinformation wahrnehmen konnte. Auch hier weichen die Differenzen zwischen den einzelnen Eingabevarianten überzufällig voneinander ab ($F_{4,92}=71.354$; $p<.05$). Die Mittelwerte unterscheiden sich, ausgenommen die Kombination Tastenblock / Touch Input Device, signifikant.

Bedeutsam erscheint es, dass die Verwendung des Kontextmenüs, d.h. die zeitweilige Überlagerung des Lagebildes mit Schaltflächen, in Bezug auf beide Bewertungskriterien gegenüber der Verwendung am Bildschirmrand angeordneter, GUI-integrierter Schaltflächen Vorteile aufweist. Lassen also z.B. die räumlichen Randbedingungen keine Bereitstellung von Hard- oder Softkeys am Konsolenarbeitsplatz zu, stellt die Verwendung der PC-Maus in Verbindung mit Kontextmenüs einen akzeptablen Kompromiss dar.

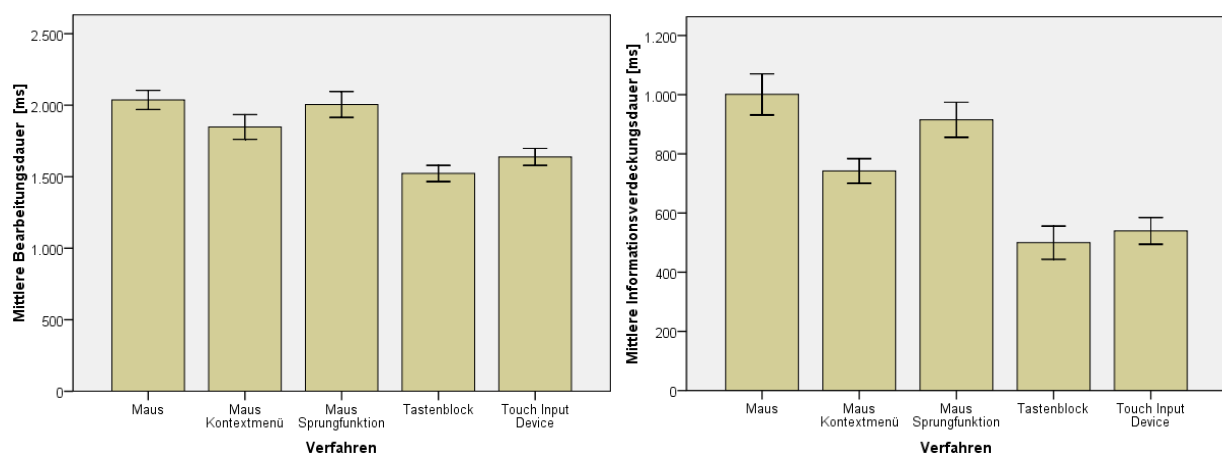


Abb. 1: Bearbeitungsdauer (links) und durch Blickabwendung oder Popup-Überlagerung resultierende Informationsverdeckungszeit (rechts) unter den untersuchten Bedienvarianten. Fehlerbalken zeigen hier und im Weiteren das 95%-Konfidenzintervall.

Fällt im Rahmen der Systemkonzeption eine Entscheidung zugunsten der Verwendung von Hard- oder Softkeys, so ist im Weiteren zu klären, wo das zusätzlich erforderliche Eingabegerät positioniert wird. Abb. 2 (links) verdeutlicht grafisch, dass die resultierende Bearbeitungsdauer überzufällig von der Positionierung des Eingabegeräts abhängt ($F_{2,46}=27.307$; $p<.05$). Die Mittelwertdifferenzen sind jeweils paarweise signifikant; besonders negativ wirkt sich eine Positionierung des Geräts auf der motorisch dominanten Seite des Pb aus. Eine Anordnung auf der gegenüberliegenden Seite oder mittig provoziert, dass der Benutzer die nicht-dominante Hand zur Bedienung des Zweitgerätes verwendet. Wie die empirischen Befunde zeigen (Abb. 2, rechts) wird auf diese Weise eine kurze Bearbeitungsdauer erzielt.

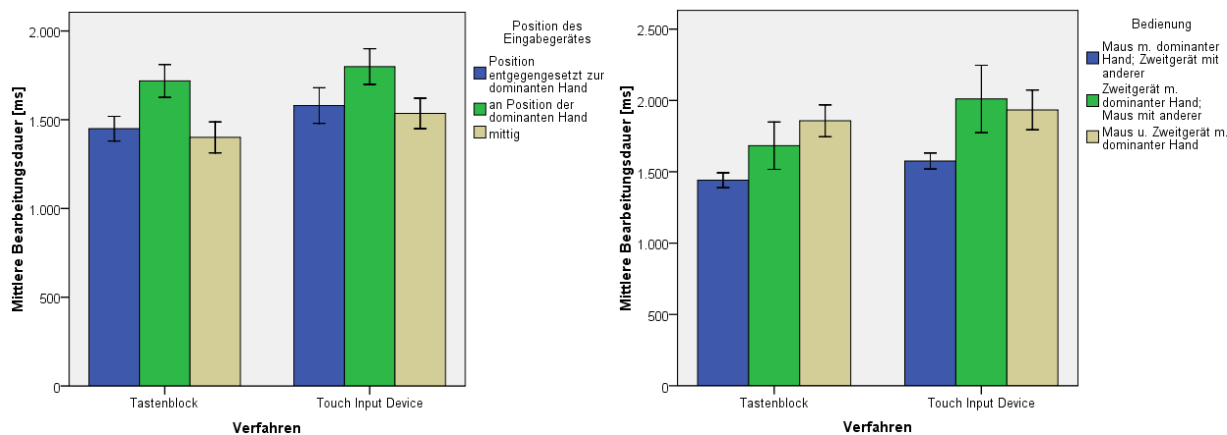


Abb. 2: Bearbeitungsdauer bei Nutzung von Hardkeys (Tastenblock) und Softkeys (Touch Input Device); links in Abhängigkeit von der Positionierung des Eingabegeräts in Bezug zur individuell motorisch dominanten Seite; rechts: in Abhängigkeit von der (nicht vorgegebenen) Bedienweise seitens des Probanden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die empirische Bewertung verschiedener Interaktionsmethoden unter Nutzung von Maus, Ziffernblock sowie Touch Input Device für großflächige Anzeigegeräte deutet auf Vorteile der Verwendung von Hard- oder Softkeys hin. Ist der Einsatz einer PC-Maus zwingend vorgegeben, stellt die Bedienung mittels Kontextmenü (Popup-Menü) die hierbei leistungsfähigste Variante dar.

Die weitere Planung sieht vor, diese Untersuchung auf einer bewegten Plattform zu wiederholen, um die Ergebnisse in Bezug auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf schwimmende Plattformen der Deutschen Marine zu abzusichern.

Literatur

- Concejero, P., Cavero, L., Espliego, I. (1995): Comparison of keypad, mouse and touch screen for phone number dialing tasks. *Boletín Factores Humanos*, No. 7, April.
- Grandt, M., Ley, D. (2008): Unterstützung von Entscheidungsprozessen durch benutzerzentrierte Gestaltung von Führungssystemen. In: L. Schmidt, C. Schlick, J. Grosche (Hrsg.), *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin u.a.: Springer. S. 79-102.
- Kaster, A., Maas, J., Schweingruber, J. (2008): *Exemplarische Gestaltung, Realisierung und Bewertung eines richtungsweisenden prototypischen Einsatzführungssystems für Operationszentralen*. Abschlussbericht. Wachtberg: FGAN.
- Karat, J., McDonald, J.E., Anderson, M. (1986): A comparison of menu selection techniques: touch panel, mouse and keyboard. *International Journal of Man Machine Studies*, 25, 73-88.
- Pfendler, C., Grandt, M., Köhler, G., Mooshage, O. (2002): *Vergleichende Bewertung von Eingabemedien für die Mensch-Maschine-Schnittstelle von FüWES der Marine (FKIE-Bericht Nr.48)* Wachtberg: FGAN.
- Witt, O., Grandt, M., Küttelwesch, H. (2009): Direct Perception Displays for Military Radar-Based Air Surveillance. *Proceedings 8th International Conference Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics (EPCE 2009), held as Part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009*. Berlin u.a.: Springer. pp. 606-615.