

Vergleich formativer und normativer Arbeitsanalysen am Beispiel eines Luftraumüberwachungssystems

Oliver Witt und Daniel Ley

Schlüsselwörter: Work Domain Analysis, Hierarchical Task Analysis, Informationsanforderungen, Benutzungsoberfläche, Luftraumüberwachung

Zusammenfassung

Grundlage einer "mensch-zentrierten" Gestaltung von Benutzungsoberflächen komplexer Systeme bildet die Bestimmung des Informationsbedarfs, d.h. derjenigen Informationen, die der Systemanwender bei der Erfüllung seiner Aufgaben benötigt und ihm demzufolge durch Anzeige innerhalb der Benutzungsoberfläche bereitzustellen sind. Verbreitete Analysemethoden sind formative Arbeitsanalysen wie beispielsweise die Work Domain Analysis und normative Arbeitsanalysen wie beispielsweise die Hierarchical Task Analysis. Dieser Beitrag belegt am Beispiel eines militärischen Luftraumüberwachungssystems, dass beide Analysen sowohl übereinstimmende als auch komplementäre Informationsanforderungen liefern und wie diese innerhalb einer Benutzungsoberfläche visualisiert werden können.

Einführung

Grundlage einer "mensch-zentrierten" Gestaltung von Benutzungsoberflächen komplexer Systeme bildet die Bestimmung des Informationsbedarfs, d.h. derjenigen Informationen, die der Systemanwender bei der Erfüllung seiner Aufgaben benötigt und ihm demzufolge durch die Benutzungsoberfläche bereitzustellen sind. Verbreitete Analysemethoden sind beispielsweise die Work Domain Analysis (WDA; Rasmussen et al., 1994; Vicente, 1999) und die Hierarchical Task Analysis (HTA; Annett, 2004; Kirwan & Ainsworth, 1992).

Formative Methoden wie die WDA analysieren die Handlungsmöglichkeiten des Operateurs. Was kann gemacht werden? Normative Arbeitsanalysemethoden hingegen wie die HTA analysieren die konkret auszuführenden Handlungen zur Zielerreichung. Wie sollte eine Arbeit gemacht werden? Formative Methoden sind demzufolge robuster gegenüber normativen, da sie situationsunabhängig Gültigkeit besitzen. Normative Methoden sind effizienter gegenüber formativen, da sie situationsabhängig spezifisches Verhalten definieren und vorgeben.

Jamieson et al. (2007) belegen am Beispiel einer simulierten petrochemischen Anlage, dass die o.a. Methoden sowohl übereinstimmende als auch komplementäre Informationsanforderungen liefern. Eine petrochemische Anlage ist ein kausales System, dessen Anwendung vorwiegend durch physikalische Constraints (wie bspw. Naturgesetze) dominiert ist. In einer laufenden Untersuchung wird überprüft, in wie weit die für ein kausales System gefundenen Ergebnisse auf ein primär durch intentionale Constraints (wie bspw. sozial und organisatorisch bedingte Vorgaben, Absichten, Prioritäten und Werte) dominiertes System übertragbar sind.

In verschiedenen Projekten des FKIE für die Deutsche Marine wurden die beiden o.a. Analysemethoden für die Luftraumüberwachung als Teilbereich von Command & Control (C2) mit dem Ziel der Gestaltung einer Benutzungsoberfläche eingesetzt. Die Luftraumüberwachung gehört für schwimmende militärische Plattformen aufgrund der kinematischen Eigenschaften von Luftobjekten (Flugzeuge und Flugkörper) zu den besonders zeit- und sicherheitskritischen Aufgaben. Aufgrund der heute primär asymmetrisch vorkommenden Bedrohungen gewährleisten jedoch die mit einem hohen Automationsgrad betriebenen Einsatzsysteme bei der Identifizierung bzw. Klassifizierung derartiger Kontakte keine vollständige Verlässlichkeit. Deshalb bleibt der menschliche Operateur auch in der Zukunft der Entscheidungsträger. Folglich sollte

auch bei Verwendung computergestützter Entscheidungshilfen der Fokus beim Design von komplexen militärischen Mensch-Maschine-Systemen und deren Benutzungsoberflächen in der optimierten Mensch-System-Integration liegen, um den Operateur hochgradig in die Situation und das System einzubinden („human-in-the-loop“).

Formative Arbeitsanalyse eines Luftraumüberwachungssystems

Formative Arbeitsanalysen ermöglichen neue Arbeitsvorgänge bzw. -abläufe, indem sie die Handlungsmöglichkeiten des Operateurs identifizieren und spezifizieren, insbesondere beim Eintreten unerwarteter Ereignisse bzw. Situationen. Formative Arbeitsanalysen zielen darauf ab, durch die Bestimmung so genannter „Behavior shaping constraints“ bzw. „Intrinsic work constraints“ zu beschreiben, wie Arbeit durchgeführt werden könnte. Formative Modelle liefernde Methoden zur Arbeitsanalyse beschreiben die durch das System zu erfüllenden Anforderungen. Diese Form der Analyse ermöglicht die für ein erfolgreiches Arbeiten insbesondere bei offenen Systemen erforderliche kontextabhängige Variabilität, d.h. in unterschiedlichen Situationen sind unterschiedliche Handlungen erforderlich, um das gleiche Ziel unter kontextspezifisch auftretenden Störungen zu erreichen.

Ein Beispiel einer formativen Methode ist die WDA. Auf verschiedenen Abstraktionsebenen werden die Systemziele, -prioritäten, -funktionen, -prozesse und -ressourcen und deren Abhängigkeiten durch strukturelle Ziel-Mittel-Beziehungen modelliert. Die WDA liefert eine ereignisunabhängige Beschreibung des zu führenden Systems und der relevanten Arbeitsumgebung in Form von Abstraktions-Dekompositionsräumen. Die WDA liefert Zweck und (funktionale) Struktur der Arbeitsdomäne, die unabhängig von einer besonderen Arbeitsperson, Automation, Ereignis, Aufgabe, Ziel oder Schnittstelle ist (Vicente, 1999).

Basierend auf der Analyse von Systemspezifikationen und -handbüchern, Befragungen von Operateuren der Deutschen Marine und Entwicklern von Radargeräte für die Luftraumüberwachung sowie Beobachtungen von Teamtrainings wurden Abstraktionshierarchien für den Bereich Anti-Air Warfare entwickelt.

Die Analyse ergab eine fünfstufige Abstraktionshierarchie (Tab. 1, Spalte 1). Die erste von fünf Ebenen (Funktionaler Zweck, FZ) beschreibt die Zielsetzung, mit welcher die Arbeitsdomäne entwickelt wurde. Die zweite Ebene (Abstrakte Funktion, AF) liefert die zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien. Die dritte Ebene (Generalisierte Funktion, GF) umfasst die involvierten Prozesse. Die vierte Ebene (Physikalische Funktion, PFu) definiert die beteiligten Entitäten und deren Verfügbarkeit. Die fünfte Ebene (Physikalische Form, PF) beinhaltet die physikalische Erscheinung und räumliche Anordnung der Entitäten (Tab. 1, Spalte 2). Die verschiedenen Hierarchieschichten sind durch Ziel-Mittel-Beziehungen verbunden, d.h. eine Schicht stellt jeweils die Mittel bereit, um die Ziele der darüber liegenden Schicht zu erreichen, wobei jede Schicht in ihrer jeweiligen Form eine vollständige Systembeschreibung beinhaltet.

Die Elemente der Abstraktionshierarchie sind im folgenden Schritt in Informationsanforderungen zu transformieren (Tab. 1, Spalte 3). Beispielsweise sind demnach die Eigenschaften der physikalischen Komponenten des betrachteten Systems sind anzuzeigen wie Erscheinung und Ort (Ebene PF) sowie die Verfügbarkeit (Ebene PFu). Darüber hinaus sind die Konfigurationseinstellungen der Geräte (Ebene GF), der zu überwachende Luftraum (Ebene AF) und die Anzahl der identifizierten bzw. nicht identifizierten Luftkontakte in dem zu überwachenden Luftraum (Ebene FZ) darzustellen.

Tab. 1: Ausschnitt der Abstraktionshierarchie und entsprechender Informationsanforderungen

Abstraktionsebene	Luftraumüberwachung	Informationsanforderungen
Funktionaler Zweck	Überwachung des Luftraums unter Minimierung des Ressourceneinsatzes und der Gefährdung eigener / neutraler Kräfte	Anzahl der identifizierten bzw. nicht identifizierten Luftkontakte in dem zu überwachenden Luftraum Position und kinematische Attribute von Luftobjekten (eigen/gegnerisch)
Abstrakte Funktion	Eigene Gefährdungspotential und das von zu schützenden Einheiten, Zeit Ressourcen Einsatzbefehle Physikalische Gesetzmäßigkeiten (Energieerhaltungssatz etc.)	Überwachter Luftraum Time to impact Verfügbare Ressourcen (Radar, Kommunikation)
Generalisierte Funktion	Detektion von Luftobjekten Lokalisierung von Luftobjekten Identifizierung/Klassifizierung von Luftobjekten	Konfigurationseinstellungen der Geräte insbes. eingestellte Radarsektoren
Physikalische Funktion	Verfügbarkeit der Sensoren	Verfügbarkeit von Radar und dessen Subsysteme, IFF-Anlage, Kommunikationsanlagen inkl. LINK
Physikalische Form	Form, Farbe, Lokation, Material der Sensoren	Erscheinung und Ort von Radar und dessen Subsysteme, IFF-Anlage, Kommunikationsanlagen inkl. LINK

Normative Arbeitsanalyse eines Luftraumüberwachungssystems

Der normative Ansatz zur Arbeitsanalyse gibt Bearbeitungspfade der Durchführung von Aufgaben zur Erreichung eines Arbeitsziels in einem gegebenen Kontext vor. Repräsentiert wird dieser Ansatz durch Aufgabenanalysen wie die verbreitete HTA (vgl. u.a. Annett, 2004; Kirwan & Ainsworth, 1992; Stanton et al., 2005), aber auch GOMS (Goals, Operators, Methods and Decision Rules; vgl. z.B. Stanton et al., 2005) und Tayloristische Arbeitsmethoden.

Vicente (1999) differenziert drei mögliche Ausprägungen der Aufgabenanalyse, die dem einschränkungsbasierten (Was soll nicht getan werden?) und dem instruktionsbasierten (Was soll getan werden?) Ansatz zugeordnet werden können. Die Wahl eines dieser Ansätze ist von der Zielsetzung der Analyse und der Einschätzung der Arbeitssituation (Arbeitsmittelvorgaben usw.) und der Fähigkeiten eines Operators bestimmt und beeinflusst über den jeweiligen Grad seiner Entscheidungsfreiheit zudem seine Lernmöglichkeiten.

Bei der Durchführung einer HTA, die dem instruktionsbasierten Ansatz zugeordnet werden kann, wird ein Arbeitsziel in notwendige oder optionale Aufgaben und diese wiederum in Subaufgaben (usf.) zergliedert (Top-Down-Ansatz). Diese werden über Operationen bzw. Suboperationen verrichtet, deren Ausführung die Erreichung des jeweils übergeordneten Ziels (in der hierarchischen Baumstruktur-Darstellung entspricht dieses dem Vaterknoten; eine weitere Möglichkeit der Darstellung ist die Tabellenform) bewirkt. Die mögliche Reihenfolge und Auswahl der Operationen unter bestimmten Voraussetzungen werden in einem Plan für die jeweilige Teilstruktur angezeigt.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Aufgaben und ihre möglichen Abfolgen zur Identifizierung und Klassifizierung von Luftobjekten in Operationszentralen erfasst. Als Quellen dienten Gespräche mit Marine-Experten, die Beobachtung von Übungssituationen sowie Aus-

bildungsunterlagen. Das Ergebnis der Erhebung wurde in graphischer und tabellarischer Form festgehalten; ein Ausschnitt letzterer ist in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2: Ausschnitt der HTA und entsprechender Informationsanforderungen

Aufgaben und Pläne	Informationsanforderungen
1. Lagebild erfassen PLAN 1: Do required tasks in any order: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4	- politische Informationen - geographische Informationen
1.1. LINK-Informationen erfassen	- LINK-Informationen
1.2. Lagebildeinstellungen prüfen	- Range-Einstellung
1.3. Statische Objekte erfassen PLAN 1.3: Do in any order 1.3.1/1.3.2/1.3.3/1.3.4/1.3.5	- statische Objekte
1.3.1. Lage von Luftstraßen erfassen	- Luftstraßen
1.3.2. Lage von Flughäfen erfassen	- Flughäfen
1.3.3. Lage militärischer Sperrgebiete erfassen	- militärische Sperrgebiete
1.3.4. Lage militärischer Korridore erfassen	- militärische Korridore
1.3.5. Lage des Bedrohungssektors erfassen	- Bedrohungssektor
1.4. Dynamische Objekte erfassen PLAN 1.4: Do in any order 1.4.1/1.4.2/1.4.3/1.4.4	- dynamische Objekte
1.4.1. Freundliche Parteien erfassen PLAN 1.4.1: Do at the same time 1.4.1.1-1.4.1.4	- freundliche Luftobjekte (differenziert von Darstellung anderer Objekte)
1.4.1.1. Anzahl/Stärke/Art der Luftobjekte erfassen	- Repräsentation einzelner Luftobjekte - Unterschiedliche Darstellung nach Art des Objekts
1.4.1.2. Lage der Luftobjekte erfassen	- Luftobjekte im Kontext geographischer Informationen
1.4.1.3. Kurse der Luftobjekte erfassen	- Kurs einzelner Luftobjekte
1.4.1.4. Distanzen der Luftobjekte zum Eigenschiff erfassen	- Luftobjekte entsprechend ihrer Position zum Eigenschiff

Die hierarchische Struktur gliedert sich auf der obersten Ebene in die wiederholt linear abzuarbeitenden Aufgaben „Lagebild erfassen“ (in Bezug auf die geographische und die politische Situation), „Luftobjekt evaluieren“ und „Luftobjekt identifizieren und klassifizieren“. Auf den darunterliegenden Ebenen ist diese Linearität zumeist nicht mehr gegeben, so dass die Anweisung zur Bearbeitung häufig „Do in any order“ lautet (vgl. u.a. Plan 1.3 in Tab. 2).

In der zweiten Spalte wurde die Aufgabenanalyse um die abgeleiteten Informationsanforderungen erweitert. In Aufgabe 1 werden zur Erfassung des Lagebilds zunächst die allgemeinen Anforderungen „politische Informationen“ und „geographische Informationen“ vermerkt und auf den unteren Ebenen spezifiziert. Hinzu kommen zur korrekten Abschätzung der Lagedarstellung die Erfassung der Systemeinstellungen, z.B. des Range (vgl. Anforderung zu Aufgabe 1.2 in Tab. 2) und der über das Datenaustauschformat LINK gesendeten Informationen. Bei der Erfassung situativer geographischer Gegebenheiten wird zwischen statischen und dynamischen Objekte unterschieden. Aus den Aufgaben zur Erfassung statischer Objekte leiten sich Anforderungen wie Informationen über (bzw. Darstellungen zu) Luftstraßen, Flughäfen, militärische Sperrgebiete und Korridore sowie den Bedrohungssektor ab. Bezogen auf dynamische Objekte werden freundliche, feindliche, neutrale und noch nicht identifizierte Objekte unterschieden. Hieraus ergibt sich, wie für die freundlichen Objekte in Abb. 1 zu erkennen, die Anforderung der Repräsentation individueller Luftobjekte mit differenzierter Kodierung unterschiedlicher Arten, die Lage eines Luftobjekts im Kontext der geographischen Anzeige sowie Kurs und die relative Distanz zum Eigenschiff.

Vergleich und Integration der Informationsanforderungen in eine Benutzungsoberfläche

In der beschriebenen Untersuchung wurden durch die Anwendung der WDA und HTA Informationsanforderungen extrahiert. Diese werden nun gegenübergestellt, zusammengeführt und darüber hinaus der derzeitige Stand der Umsetzung in eine prototypisch entwickelte Benutzungsoberfläche zur militärischen Luftraumüberwachung vorgestellt (Abb. 1; vgl. auch Grandt & Ley, 2008; Witt et al., 2009).

Durch den Vergleich der Anforderungen aus beiden Analysen können übereinstimmende und komplementäre Anforderungen identifiziert werden. Eine genauere Betrachtung letzterer lässt gegebenenfalls Rückschlüsse auf Stärken bzw. Schwächen einer Methode zu. Die Gegenüberstellung der gefundenen Anforderungen zeigt, dass für den überwiegenden Teil von Anforderungen einer Analyse eine Entsprechung in der anderen vorhanden ist (Tab. 1 und Tab. 2).

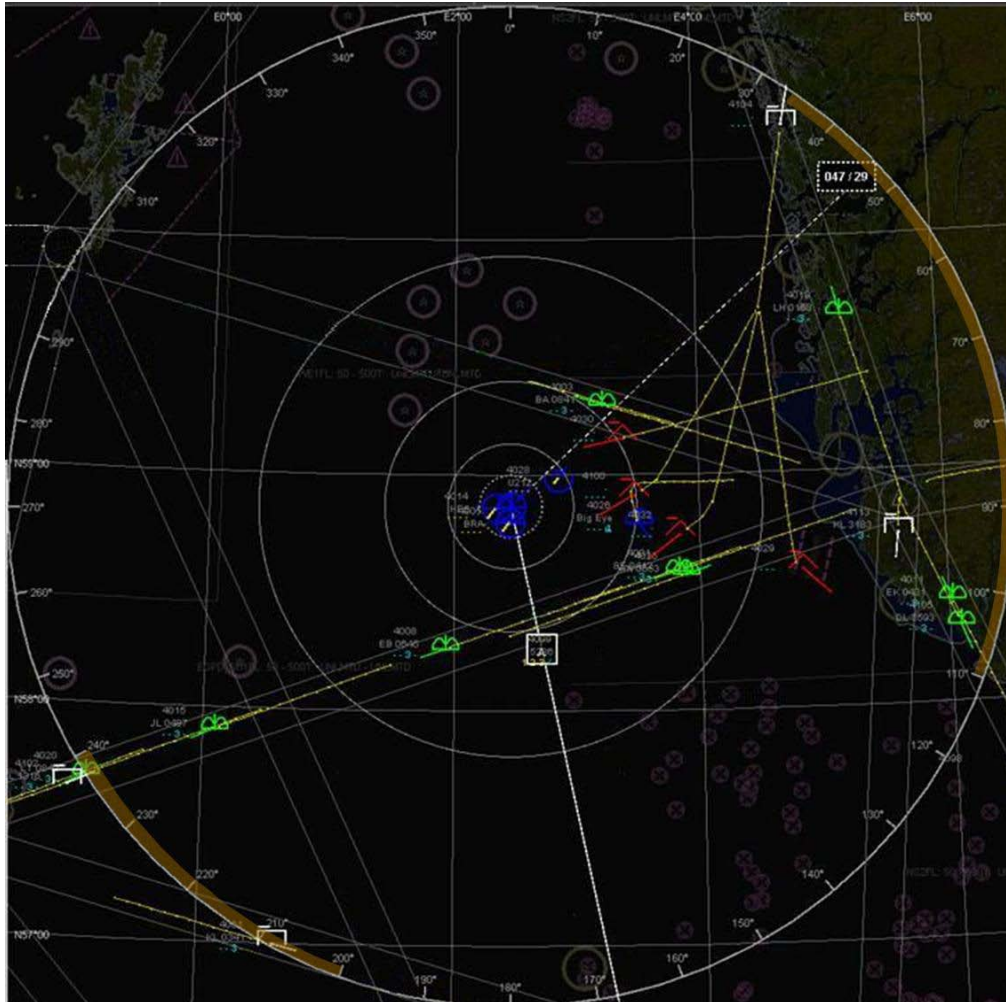


Abb. 1: Visualisierung der Informationsanforderungen im Tactical Situation Display

Die Anforderung der Darstellung feindlicher und freundlicher Luftkontakte ist ein Ergebnis beider Analysen. Jedoch werden hierzu in der HTA spezifischere Angaben gemacht: Eine differenzierte Darstellung einzelner Parteien sowie zusätzlich unterschiedlicher Luftobjektklassen wird explizit gefordert. In der Umsetzung (vgl. Abb. 1) sind diese dynamischen Objekte entsprechend farblich (grün = neutral, blau = freundlich, rot = feindlich, weiß = noch nicht identifiziert) und symbolisch kodiert. Auch in Hinblick auf die Position von Luftobjekten sind die Forderungen der HTA feingliedriger: Es wird nicht nur allgemein die Positionierung der Objekte verlangt, sondern auch die dabei relevante Relation zum Eigenschiff und anderen geographischen Gegebenheiten. Zusätzlich wird die geforderte Kennzeichnung des Kurses und der Geschwindigkeit eines Luftobjekts über den Verlauf und die Länge von an Objekten angehängten Vektoren integriert. Zuletzt sind auch Vorgaben zur Darstellung des zu überwachenden Luftraums bei der HTA konkreter: es werden neben den allgemeinen geographischen Informationen (elektronische Seekarte im Hintergrund) auch solche zum Verlauf von Luftstraßen (graue, parallel verlaufende Linien), Flughäfen und militärischen Sperrgebieten und Korridoren (in Abb. 1 nicht dargestellt) gefordert.

Die Anwendung der WDA hingegen ergänzt die Informationsanforderungen unter anderem in Bezug auf die Verfügbarkeit, Erscheinung und den Ort von Radargeräten und anderen Systemen, die in der HTA keine Berücksichtigung finden. Durch Kennzeichnung der aktiven Sektoren (Hervorhebung aktiver Bereiche 35°-110° und 200°-240° an der Kompassrose), welche durch das Radar abgedeckt werden, ist folglich unmittelbar ersichtlich, warum in den nicht durch ein Radar abgedeckten Bereichen keine Kontakte oder lediglich elektromagnetische Peilungen (wie im Bereich 165°-170) erfasst werden.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt, dass die Work Domain Analysis und die Hierarchical Task Analysis für ein militärisches Luftraumüberwachungssystem sowohl übereinstimmende als auch komplementäre Informationsanforderungen liefern. Die Mehrzahl der Informationsanforderungen konnte ausschließlich mit der WDA identifiziert werden (wie Verfügbarkeit, Erscheinung und Ort von Systemen, Radarsektoren usw.), wohingegen die HTA einzelne Informationsanforderungen der WDA verfeinert hat. Somit entsprechen die Ergebnisse weitgehend denen von Jamieson et al. (2007) für eine simulierte petrochemische Anlage. Dies deutet daraufhin, dass für eine optimale Benutzungsoberflächengestaltung Informationsanforderungen sowohl mit formativen als auch mit normativen Analysemethoden bestimmt werden sollten, um die jeweiligen Vorteile zu kombinieren: die Effizienz des normativen Ansatzes, da er situationsabhängig Verhalten vorgibt; die Robustheit des formativen Ansatzes mit situationsunabhängiger Gültigkeit.

Zukünftige Arbeiten sollten darauf abzielen, die kombinierte praktische Durchführung beider Methoden effektiver und effizienter zu gestalten, da der derzeit noch erforderliche Aufwand eine Durchführung beider Analysen in den meisten Projekten nicht gestattet.

Literatur

- Annett, J. (2004). *Hierarchical Task Analysis*. In: Diaper, D. & Stanton, N. (Hrsg.): *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction*. Mahwah, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 67-82.
- Grandt, M. & Ley, D. (2008). *Unterstützung von Entscheidungsprozessen durch benutzerzentrierte Gestaltung von Führungssystemen*. In: Schmidt, L.; Schlick, C. M. & Grosche, J. (Hrsg.): *Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme*.
- Jamieson, G.A, Miller, C.A., Ho, W.H. & Vicente, K.J. (2007). *Integrating Task- and Work Domain-based Work Analyses in Ecological Interface Design: A Process Control Case Study*, IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics, vol. 37, Issue 6, 887-905.
- Kirwan, B. & Ainsworth, L.K. (1992). *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. & Goodstein, L.P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. New York: Wiley.
- Stanton, N.A., Salmon, P.M., Walker, G.H., Baber, C. & Jenkins, D.P. (2005). *Human Factors Methods. A Practical Guide for Engineering and Design*. Burlington, USA: Ashgate Publishing Company.
- Vicente, K.J. (1999). *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer Based Work*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Witt, O., Grandt, M. & Küttelwesch, H. (2009). *Direct Perception Displays for Military Radar-based Air Surveillance*. In: D. Harris (Hrsg.): *Engin. Psychol. and Cog. Ergonomic, HCII 2009, LNAI 5639, 606-615, Springer-Verlag Berlin*.