

Inkrementelle nutzergerechte Etablierung eines Towerlotsen-HMI

Christina König¹, Thomas Hofmann¹, Jörg Bergner², Ralph Bruder¹

Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt ¹, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ²

Zusammenfassung

Der Arbeitsplatz mit enthaltenen Human-Machine-Interfaces (HMI) muss der besonders anspruchsvollen Aufgabe der Tower-Lotsen gerecht werden: Informationen aus mehreren Quellen (Funk, Systeme, Sicht aus dem Fenster) unter Zeitdruck und mit hoher Verantwortung zu integrieren, Entscheidungen zu treffen und den Luftverkehr sicher anzuleiten. Aus diesem Grund muss die Entwicklung und Einführung neuer Systeme mit einer besonderen Sorgfalt durchgeführt werden. Die Gestaltung einer interaktiven Systemschnittstelle erfordert einen dem Arbeitsplatz und dem Handlungsszenario angepassten Entwicklungsprozess und eine besondere Sensibilität der Entwickler. Der Beitrag beschreibt, mit welcher Methodik und in welchen Schritten ein neues, hoch spezialisiertes HMI für Tower-Lotsen etabliert wurde.

1 Einleitung

Die Gestaltung eines HMI für Fluglotsen bietet besondere Herausforderungen, denn die Tätigkeit der Fluglotsen im Tower ist geprägt von anspruchsvollen, zeitkritischen und sicherheitsrelevanten Aufgaben (Wickens et al. 2007). Situationsbewusstsein (nach Endsley 1995) spielt dabei eine wichtige Rolle: Nur wer die Lage in der Luft und am Boden in seinem Verantwortungsbereich kennt, kann gute und sichere Entscheidungen treffen. So sollte der Lotse jederzeit wissen, an welcher Position sich welche Flugzeuge in welchem Prozessschritt befinden. Neben der aktuellen müssen auch zukünftige Situationen antizipiert und damit An- und Abflugprozesse auch für die nächste Zeit optimal geplant werden. Bei guter Sicht und wenig Verkehr ist das kein Problem. Doch je schwieriger die äußeren Bedingungen sind, desto wichtiger ist für den Lotsen, dass er exakt die benötigten Informationen bekommt: Bei fehlenden Daten können Entscheidungen nicht fundiert getroffen werden, bei überflüssigen Informationen kostet die Auswahl der relevanten Daten kognitive Kapazitäten, die dann an andere Stelle fehlen können.

Unter diesen besonderen Voraussetzungen muss die Entwicklung eines Human-Machine-Interface (HMI) mit besonderer Sorgfalt geschehen. Dazu gehört, dass der Entwicklungsprozess nahe am späteren Benutzer bleibt, damit seine Bedürfnisse, Erwartungen und Erfahrungen mit in die Gestaltung einfließen können (vgl. DIN EN ISO 13407; Gould 1988). Durch das Einbeziehen der Benutzer erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass tatsächlich ein Produkt entwickelt wird, welches die Akzeptanz der Benutzer genießt (Burmester & Görner, 2003). Ein wenig funktionales und unangenehm zu bedienendes HMI kann dazu führen, dass das System nicht so gewissenhaft genutzt wird, wie es sinnvoll wäre (Gould 1988), und dass beispielsweise Daten aus Bequemlichkeit nicht eingegeben oder Informationen nicht verwendet werden.

Weiter empfiehlt sich ein iterativer Entwicklungsprozess, um frühzeitig Erkenntnisse zum Konzept zu erhalten und unerwünschte Entwicklungen zu vermeiden (Genov 2005; Wickens et al. 2007). Durch evolutionäres Prototyping entstehen schon früh Prototypen, mit denen Funktion und Gestaltung verdeutlicht werden können, und die als Grundlage für Workshops, Befragungen oder Versuche dienen können. Ganz besonders relevant ist dieses Vorgehen, wenn wie im vorliegenden Projekt die Veränderungen durch das neue HMI für diese Benutzer so immens sind, dass man von einem Paradigmenwechsel sprechen kann (Burmester & Görner 2003). Denn die Veränderungen betreffen nicht nur die Art und Weise der Informationsanzeige oder die Eingabe, sondern beeinflussen auch die Arbeitsweise so stark, dass neue Verhaltensweisen und Strategien erworben werden müssen (Gould 1988). Dementsprechend kann die Veränderung nicht in einem großen Sprung vorgenommen werden, sondern nur Schritt für Schritt, um die Benutzer langsam mit den Neuerungen vertraut zu machen.

Mit diesem Hintergrund wurde im Rahmen des Verbundvorhabens „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ des 4. Luftfahrtforschungsprogramms (Lufo IV) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) von der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, delair Air Traffic Solutions GmbH und dem Institut für Arbeitswissenschaft der Technischen Universität Darmstadt ein integrierter Arbeitsplatz für Tower-Lotsen entwickelt.

2 Projekt

Der neu gestaltete, integrierte Arbeitsplatz sollte die Tower-Lotsen bei ihrer Tätigkeit unterstützen und damit auch die Kapazität an großen Flughäfen sichern bzw. erhöhen. Die Tätigkeit des Lotsen umfasst zahlreiche anspruchsvolle, zeitkritische und sicherheitsrelevante Aufgaben. Das Beherrschen der benötigten Visualisierungs- und Interaktionssysteme erfordert einen langen und intensiven Lernprozess, bis die Interaktion zwischen Nutzer und Technik effektiv, effizient und zufriedenstellend funktioniert. Jegliche Änderungen in Darstellung und Interaktion reduzieren die Gesamteffektivität des Systems massiv und längerfristig (Wickens et al. 2007). Bei einem integrierten Arbeitsplatz sollten Informationen aus verschiedenen Systemen aufeinander abgestimmt und gemeinsam dargestellt werden. Der Lotse erhält situationsgerecht, aufgabenangemessen und gut lesbar immer exakt die Informationen, die er in diesem Moment braucht. So beanspruchen Informationsaufnahme und -eingabe möglichst

wenig der kognitiven und visuellen Kapazität und der Lotse kann seine Aufmerksamkeit weitestgehend auf seine Arbeitsaufgabe richten. Besondere Bedeutung erhält das bei Flughäfen mit hohem Verkehrsaufkommen wie beispielsweise Frankfurt, an denen dem Lotsen keine Zeit für Nebentätigkeiten oder umständliche Bedienprozesse bleibt. Hier ist eine Optimierung des Arbeitsplatzes besonders wichtig. Die vorliegende Nutzergruppe ist hoch spezialisiert und eher konservativ eingestellt. Ihre Arbeitsmittel werden mit einem hohen Maß an Test- und Lehraufwand etabliert und dann über lange Zeit beibehalten. Ein Interface sollte daher neben Innovation auch gewährleisten, dass Bediensystematik und Darstellung der Inhalte des Systems von den Lotsen akzeptiert werden und diese nicht zu sehr von den bekannten Paradigmen abweichen. Innovation bedeutet in diesem Zusammenhang also nicht die plötzliche Konfrontation mit bisher Unbekanntem, sondern eine professionelle Etablierung in Form von bekannten Prozessen. Nur durch Einhaltung einer Balance zwischen Innovation und bekannten Standards kann eine Akzeptanz von der Präsentation der Entwürfe bis hin zum Usabilitytest im Towersimulator gewährleistet werden.

3 Vorgehen

Zu Beginn wurden die aktuelle Situation der Lotsen, der Informations- und Unterstützungsbedarf, Gestaltung und Verwendung der vorhandenen Systeme und damit einhergehende Blick- und Interaktionsschwerpunkte erfasst, unter anderem durch Aufzeichnung des Blickverhaltens und eine Arbeitssystemanalyse. Der nächste Schritt beinhaltete eine sorgfältige Analyse bestehender Anforderungen und die Integration dieser Ergebnisse mit arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen, um die für dieses Projekt spezifischen Anforderungen zu definieren (vgl. Bergner et al. 2008). In der darauf folgenden iterativen Gestaltungsphase wurden mehrere Prototypen entwickelt, die jeweils einen bestimmten Entwicklungsstand repräsentieren. Hierbei wurden unterschiedliche Fragestellungen verfolgt. So sind zum Beispiel je nach Situation unterschiedliche Informationen von unterschiedlichem Detailgrad notwendig. Weiter mussten Informationen unterschiedlicher Qualität integriert werden, wie beispielsweise geografische (Start-/ Landebahnen, Höhe eines Flugzeugs), zeitliche (Zeit bis Start bzw. Landung, zeitlicher Abstand von zwei Flugzeugen) oder ablaufbezogene (Status des Flugzeugs im Start-/ Landeprozess, Gewicht bzw. Wirbelschleppenkategorie). Die Gestaltungsphase folgte in mehreren Schritten:

- Zunächst wurden bekannte Elemente in ihrem Design nur minimal verändert, die Interaktion wurde gänzlich übernommen (reine Dropdown-Funktionalität).
- Im zweiten Schritt wurden sukzessive neue Darstellungen eingeführt, das Design wurde in zahlreichen Bereichen den erhobenen Anforderungen angepasst, die Interaktionsform zunächst noch beibehalten.
- Im dritten Schritt wurde das neue Design mit den umfangreichen Systemfunktionalitäten eines Interactive Pen Displays versehen.

Schon früh im Gestaltungsprozess wurden erste Demonstratoren zur Visualisierung relevanter Gestaltungs-, Ablauf- und Bedienkonzepte aufgebaut. Dies ermöglichte die frühzeitige

Einbindung der späteren Benutzer und ein evolutionäres Prototyping sowie den Einsatz der Prototypen im Rahmen von 3D-Realzeitsimulation (im Tower-Simulator der DFS mit jeweils 3 bis 4 Lotsen, siehe auch König et al. 2008). Durch den hohen Realitätsgrad des Simulators konnte die Interfaces damit unter weitestgehend realistischen Bedingungen untersucht und daraus abgeleitete Erkenntnisse zumindest ansatzweise auf die Realität übertragen werden. Schwerpunkte der Untersuchung aus arbeitswissenschaftlicher Sicht bildeten Bedien- und Gestaltungsqualität, Aufgabenangemessenheit sowie Akzeptanz. Für die Einführung neuer Elemente und Funktionen wurde ein inkrementelles Vorgehen gewählt (Abb. 1), vor allem zu Beginn des Designprozesses mit extrem kleinen Schritten.

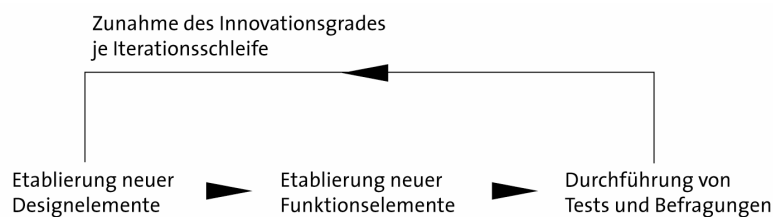


Abbildung 1: Iteratives Vorgehen im Projekt

Ausgangsbasis für das neue Interface war u. a. das im Tower vorhandenen Tower-TID (siehe u. a. Bergner et al. 2008). Dieses grafisch orientierte Touchscreen-System ist etabliert und wird von den Lotsen als effektiv empfunden. Vor allem seine Zeitstrahl-Metapher wurde für das neue integrative HMI übernommen, da dieses Element den Lotsen eine klare zeitliche Zuordnung der Flug-/ Rollbewegungen ermöglicht. Im Folgenden wurden sukzessive Erscheinungs- und Funktionsweise aller weiteren Gestaltungselemente neu konzipiert. Hauptaugenmerk lag auf der Entwicklung von sinnvollen, effektiven Darstellungen der Flugbewegungen selber. Diese Elemente bilden den Interaktionsschwerpunkt des Lotsen mit dem System. Sie wurden von einer sehr rudimentären Repräsentation hin zu komplexen Informationsträgern entwickelt (Abb. 2).

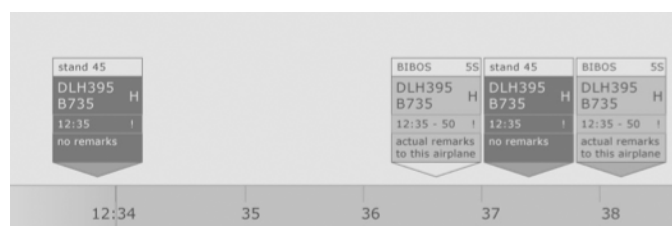


Abbildung 2: Label an der Zeitleiter (frühe Version)

4 Ergebnis

Als Ergebnis stehen nun zwei hoch spezialisierte HMI zur Verfügung. Diese stellen zusammen dem Lotsen einen großen Teil der benötigten Informationen situationsgerecht und reduziert auf zwei Displays dar, wodurch sie sich von vorhandenen Systemen unterscheiden. Nachfolgend werden die entwickelten HMI sowie ausgewählte Aspekte kurz vorgestellt.

Da solche komplexen Systeme jedoch erst nach langwierigem Benutzertraining in den Betrieb gehen, ist eine Gestaltung und Bewertung durch vergleichsweise kurze Simulationen schwierig. Hier spielt die Einschätzung durch erfahrene Lotsen und –ausbilder, welche Bedeutung eine Veränderung des HMI für den Lotsen haben kann und inwieweit schon erlernte Routinen die Bewertung eines neuen Systems beeinflussen, eine wesentliche Rolle. Trotzdem ergaben sich in der Simulation wichtige Hinweise auf die Qualität des HMI, indem mit zunehmender Reife des Prototyps die Einarbeitungszeit der Lotsen mit dem neuen System in der Simulation abnahm und auch Lotsen, die zum ersten Mal mit dem neuen HMI konfrontiert wurden, schon nach kurzer Zeit sicher arbeiten konnten. In Befragungen wurde außerdem eine hohe Akzeptanz des Systems durch die Lotsen bestätigt.

4.1 Das HMI

Nachfolgend werden die entwickelten HMI-Lösungen vorgestellt. Schwerpunkt ist auch hier das aus Lotsensicht neuartige Tower-HMI.

4.1.1 Tower-HMI

Das neue Tower-HMI stellt dem Lotsen An- und Abflüge integriert dar. Es ermöglicht dem Lotsen, verschiedene Eingaben vorzunehmen, um den aktuellen Zustand zu dokumentieren oder seine Planung abzubilden. Diese Elemente erscheinen nun im Gegensatz zu den simplen der früheren Systeme als hochinformativ Visualisierungs- und Interaktionsobjekte. Abbildung 3 zeigt das Tower-HMI in einer aktuellen Version, wie sie auch in Simulationen eingesetzt wird (für eine ausführliche Beschreibung siehe Bergner et al. 2008). Im Zentrum steht die Zeitleiter, an der sich Starts und Landungen der nächsten Minuten in Form von Labels (dunkelgrau: Landung, hellgrau: Start) entlang bewegen. In den Ecken des Bildschirms befinden sich Listen mit Flugzeugen, die zu späteren Zeitpunkten die Start- bzw. Landebahnen belegen werden. Sämtliche Label sind nach einem festen Schema aufgebaut und ermöglichen dem Lotsen so eine schnelle Orientierung, da sich Informationen immer an der optimalen, erwarteten Stelle befinden. Jedes Label enthält das Callsign des Flugzeugs (Code aus Zahlen bzw. Buchstaben), die Wirbelschleppenkategorie, den Flugzeugtyp und den Status (farbiger Balken) sowie weitere, aktuell relevante Informationen. Eingaben wie beispielsweise ein Statuswechsel oder die Dokumentation einer dem Piloten gegebenen Anweisung erfolgen mit einem speziellen Stift. Durch Antippen eines Labels wird der Statuswechsel eingegeben, durch Drag & Drop kann ein Label entlang der Zeitleiter verschoben und damit eine veränderte Reihenfolge der Starts bzw. Landungen dokumentiert werden.

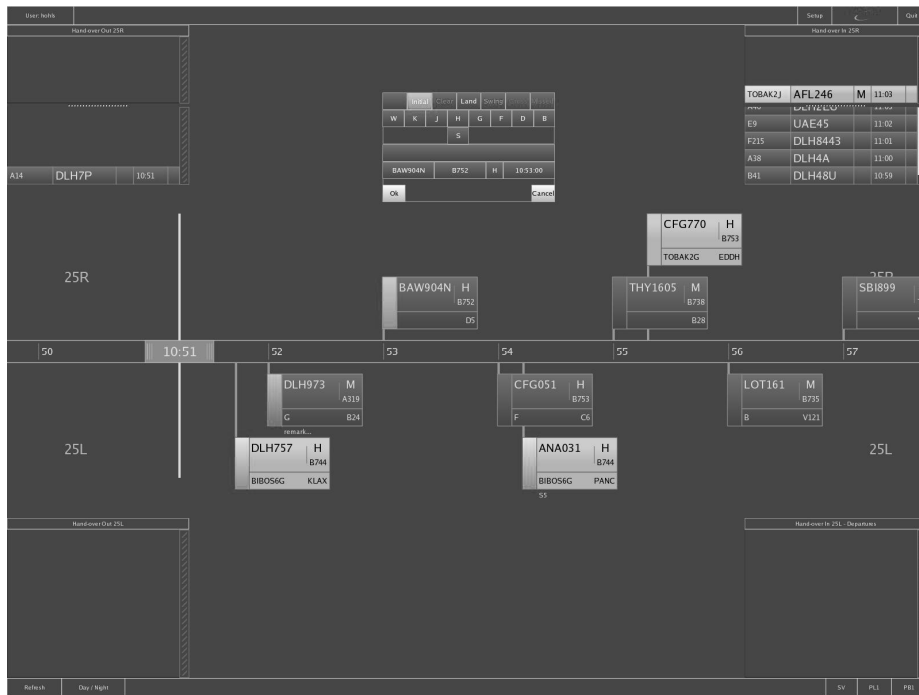


Abbildung 3: Tower-HMI

4.1.2 Bodenlage-HMI

Zur Homogenisierung der Arbeitsumgebung im Tower sollten so viele Arbeitspositionen und Aufgaben wie möglich mit der Metaphorik und Funktionalität des neuen Systems versehen werden. Nach der Entwicklung des Tower-HMI wurde daher im zweiten Teil des Projekts ein weiteres Interface neu gestaltet (Abb. 4). Die Bodenlagedarstellung bildete bis zu diesem Zeitpunkt eine reine Visualisierung von Bodenradar Daten. Da es sich bei diesem Interface jedoch in Zukunft um eine hoch prioritätäre Schnittstelle handeln sollte, war die Homogenisierung mit der Planungsanzeige von hohem Interesse.

Alle Informationen, die im Tower-HMI erscheinen, werden auf die gleiche Art und Weise auch in der Bodenlagedarstellung visualisiert, auch die Interaktionsmöglichkeiten sind gleich bzw. ähnlich. Auf einer schematischen Darstellung des Flughafens und in zwei Fenstern werden feste Hindernisse und bewegliche Objekte wie z. B. Flugzeuge oder Fahrzeuge angezeigt, so dass der Lotse auch bei schlechten Sichtbedingungen einen Überblick über die Situation am Boden erhält. Die neue Bodenlagedarstellung integriert alle relevanten Erkenntnisse aus dem bisherigen Entwicklungsprozess, von arbeitswissenschaftlich untersuchten Farbkodierungen über ein konsistentes Gesamtdesign bis hin zu einem effektiven und dem Nutzungsprozess angepassten Interaktionskonzept.

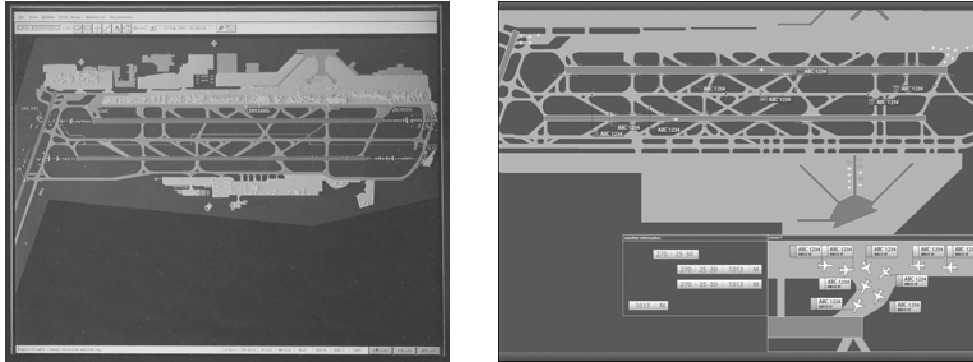


Abbildung 4: Bodenlageradar-Darstellung bisher (links, Quelle: DFS) bzw. Neuentwurf (rechts)

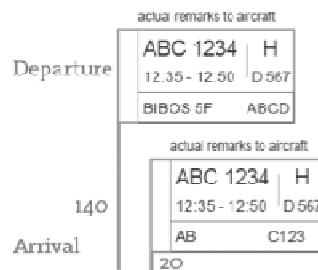
4.2 Neuartigkeit

Es stellt sich die Frage, warum das neu gestaltete HMI so revolutionär für die zukünftigen Benutzer ist. Die Neuartigkeit liegt hier tatsächlich in mehreren Bereichen:

Die Daten sind nicht mehr systembezogen dargestellt, sondern *situationsbezogen*. Damit ist die Herkunft einzelner Daten nicht mehr auf den ersten Blick erkennbar bzw. nachvollziehbar, die Daten sind sozusagen losgelöst von der Quelle. Das war zwar bisher schon teilweise der Fall, trotzdem gibt es hier eine Umstellung für die Lotsen, die zu Unsicherheit führen kann. Für den Lotsen hat die situationsbezogene Darstellung den Vorteil, dass er alle Informationen zu Flugzeugen direkt vor der Landung bzw. dem Start in einem zentralen Bereich des Bildschirms findet. Weiter sind die Flugzeugdaten jeweils an der Bahn dargestellt, die für das Flugzeug vorgesehen ist, so dass zukünftige Bahnbelegungen schnell erkannt und zeitliche Lücken leicht erfasst werden können.

Weiter wurden durch die Integration mehrerer Systeme bisherige *Codierungen* verändert, um ein einheitliches Konzept zu erhalten. So zeigte das Departure Coordination System DEPCOS bisher den Status eines Flugzeugs durch alphanumerische Zeichen bzw. Symbole, das Arrival Coordination System Tower-TID dagegen durch farbige Balken. Im neu entstandenen Tower-HMI werden für Stati grundsätzlich Farben verwendet. Um diese Statusinformation jedoch deutlich von der farblichen Codierung der Abflugstrecken (SID) zu trennen, mussten beide Codierungen in ein übergreifendes Farbkonzept überführt werden. Denn Abflugstrecken wurden bisher durch die unterschiedliche Farbe der Papierstreifenhalterungen unterschieden, die nicht direkt auf das neue HMI übertragen werden konnten, da entweder eine Farbe mehrere Informationen repräsentieren (rot für Warnung und eine Abflugrichtung) oder dem Gesamtfarbkonzept nicht entsprechen würde (schwarz auf dunkelgrauem Hintergrund). Nun sind Statusinformationen in hoch gesättigten Farben gehalten, Abflugstreckeninformationen werden in Pastellfarben angezeigt, so dass eine Verwechslung unter jeder vorkommenden Beleuchtungsbedingung unwahrscheinlich ist.

Auch wurde eine optische *Unterscheidung von Arrivals (Anflüge) und Departures (Abflüge)* notwendig, da nun beide nicht mehr auf getrennten Systemen, sondern gemeinsam auf einem Display dargestellt werden. Die Information, ob ein Flugzeug landet oder startet, ist hoch relevant, da sich dahinter völlig andere Prozesse verbergen. Allerdings bewegen sich nun sowohl landende als auch startende Flugzeuge in der gleichen Richtung entlang einer Zeitleiter, sodass die Bewegungsrichtung keine Rückschlüsse auf den Prozess zulässt. Daher wurden andere Unterscheidungsmerkmale geschaffen: Zum einen ergibt sich eine natürliches Merkmal, da bei Arrivals und Departures unterschiedliche Informationen über das Flugzeug benötigt werden und die so genannten Label mit den Informationen daher verschiedene Inhalte haben. Zusätzlich sind Arrivals und Departures zum einen durch unterschiedliche Grautöne codiert, zum anderen werden die Label der Flugzeuge auf unterschiedlichen Ebenen angezeigt: Arrivals befinden sich direkt an der Zeitleiter, Departures weiter entfernt (Abb. 5). Auf diese Weise wurde eine dreifache Codierung erreicht, so dass Arrivals und Departures eindeutig und sicher in jeder Situation zugeordnet werden können.



Darstellung oberhalb des Zeitstrahls

Abbildung 5: Unterscheidung von Arrivals und Departures durch Position und Inhalt

Diese und weitere Veränderungen führen zu einer deutlich veränderten Arbeitsweise der Lotsen, wie auch in den Simulationen bestätigt wurde. Daher stellt sich die Frage, inwiefern sich neben der Arbeitsweise, also dem gezeigten Verhalten, auch die zugrunde liegende mentale Repräsentation der Situation, das so genannten „Picture“, verändert. Da der Lotse nun Informationen in anderer Form und anderer Reihenfolge erhält als bisher, liegt diese Annahme nahe (vgl. Carroll & Reitman Olson 1988). Dem sowie der Erfassung und Modifikation mentaler Repräsentationen bei Tower-Lotsen soll in weiteren Untersuchungen im Rahmen des Nachfolgeprojekts iPort und einer damit verknüpften Dissertation nachgegangen werden.

Weiter stellen sich Fragen zur Verlässlichkeit sowie dem Vertrauen der Lotsen in Qualität und Auswahl der Informationen. Zwar wurde durch zahlreiche Workshops, Expertenbefragungen sowie betriebliche Dokumente sichergestellt, dass dem Lotsen alle benötigten Informationen in geeigneter Form angezeigt werden. Jedoch muss wie für jedes neue System auch für dieses erst Vertrauen aufgebaut und durch eine Vielzahl erfolgreicher Interaktionen ein Gefühl der Verlässlichkeit entwickelt werden.

4.3 Etablierung

Bisher sind die meisten Arbeitsplätze mit mehreren, nach und nach hinzugefügten technischen Systemen mit unterschiedlichen Anzeige- und Bedienprinzipien ausgestattet. Auch der hier vorgestellte Arbeitsplatz integriert nur einige der Systeme. Für eine nachhaltige Veränderung und konsistente Gestaltung auch für zukünftige Arbeitsplätze spielt daher eine ausführliche Dokumentation des Entwurfs eine wichtige Rolle. Der entwickelte Styleguide beschreibt daher mit Text und Grafiken ein vollständiges, einheitliches Anzeige- und Bedienkonzept und sichert die ergonomische Gestaltung auch für zukünftige Displays und weitere Arbeitsplätze im Tower. Um eine möglichst hohe Akzeptanz über die gesamte Entwicklungsphase hindurch zu gewährleisten, wurde für alle Elemente und Systematiken ein analoges Vorgehen angewandt. Diese Methodik sollte es den späteren Nutzern und Testpersonen in diesem Projekt ermöglichen, sich mit Neuerungen in kleinen Schritten vertraut zu machen und die von Designern und Arbeitswissenschaftlern eingeführten Veränderungen verständlich zu machen.

5 Fazit

Bei diesem Projekt wurde ein hoch integriertes Arbeitsplatzkonzept entwickelt, welches die Lotsen bei der Arbeit unterstützt und vor allem an Flughäfen mit hoher Verkehrsdichte zum Einsatz kommen soll. Während in den bisherigen Systemen häufig eine ungefilterte Informationsdarstellung erfolgte und der mentale Workload des Lotsen dadurch zusätzlich erhöht wurde, nimmt das neue HMI nun eine Filterfunktion ein und entlastet den Lotsen durch die situationsadäquate Visualisierung.

Das Vorgehen des inkrementellen Designprozesses, ergänzt durch sehr frühe Prototypen und Nutzerintegration, ermöglichte einen effektiven und hoch akzeptierten Entwicklungsprozess. Die Akzeptanz der Nutzer wurde vor allem dadurch erreicht, dass sie langsam, aber kontinuierlich an Neuerungen herangeführt wurden und das Maß an Innovation über den Entwicklungsprozess gesteigert wurde.

Das Design scheint im Vergleich zu vielen anderen auf dem Markt befindlichen Produkten sehr konservativ und monochromatisch: Der Bildschirm ist zum großen Teil grau, die Struktur starr und die Interaktionsformen sind begrenzt. Jedoch handelt es sich bei dem vorliegenden System um eine Interface, welche für den Austausch hochkritischer, sicherheitsrelevanter Datenpakete zwischen Mensch und Technik dient. Erste Priorität haben die eindeutige Erkennbarkeit relevanter Informationen, eine sichere Bedienung und eine logische Metaphorik. Hier wurde ein HMI etabliert, welches sich gerade durch seine Fokussierung auf absolute Funktions- und Bediensicherheit durch ein klares, ergonomisches und konsistentes Design auszeichnet.

Literaturverzeichnis

- Bergner, J., König, C., Ebert, H. & Hofmann, T. (2008). *Entwurf einer Integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller*. Paper presented at the Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2008, Darmstadt.
- Burmester, M. & Görner, C. (2003). Das Wesen benutzerzentrierten Gestaltens. In Machate, J. & Burmester, M. (Hrsg.): *User Interface Design. Benutzerschnittstellen menschlich gestalten*. Frankfurt: Software & Support Verlag, 47-66.
- Caroll, J. M. & Reitman Olson, J. (1988). Mental Models in Human-Computer-Interaction. In Helander, M. (Hrsg.). *Handbook of Human-Computer-Interaction*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V.
- DIN EN ISO 13407 (2000). *Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme*. Beuth, Berlin.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Genov, A. (2005). Iterative Usability Testing as Continuous Feedback: A Control Systems perspective. *Journal of Usability Studies*, 1(1), 18-27.
- Gould, J. D. (1988). How to Design Usable Systems. In Helander, M. (Hrsg.). *Handbook of Human-Computer-Interaction*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V.
- König, C., Hofmann, T., Bergner, J., & Bruder, R. (2008, 7.-10.09.2008). *Evaluation eines Human-Machine-Interface für Tower-Fluglotsen unter Einsatz eines Simulators*. Paper presented at the Usability Professionals 2008, Lübeck.
- Wickens, C. D., Mavor, A. S. & McGee, J. P. (Hrsg.)(2007). *Flight to the Future. Human Factors in Air Traffic Control*. Washington D. C.: National Academy Press.

Kontaktinformationen

Christina König

Institut für Arbeitswissenschaft
Technische Universität Darmstadt
Petersenstr. 30, D-64287 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151-16-6289
Fax: +49 (0) 6151-16-2798
E-Mail: koenig@iad.tu-darmstadt.de