

ANWENDUNG FUNKTIONALER MOCKUPS BEI DER ENTWICKLUNG VON LOTSENARBEITSPLÄTZEN

M.-M. Temme, L. Tyburzy, L. Nöhren, K. Muth
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig, Deutschland
D. Heßler, F. Tenberg
Hochschule Osnabrück, Deutschland
E. Viet, M. Wimmer
Frequentis Orthogon GmbH, Bremen, Deutschland

Zusammenfassung

Die Integration erweiterter Funktionen in die Arbeitsplätze von Fluglotsen (Controller) im Center und die Entwicklung neuer Darstellungen oder deren Anpassung auf Radarbildschirmen stellen einen zeit- und kostenintensiven Prozess dar, bei dem Fluglotsen als Endnutzer oft nur während der Konzeptphase und später nach Abschluss der Hauptentwicklungsphase einbezogen werden. Sie haben daher kaum Möglichkeiten, den Entwicklungsprozess durch strukturiertes Feedback zu beeinflussen. Nach Abschluss der Hauptentwicklungsphase sind elementare Änderungen an diesem hochsicherheitskritischen System jedoch zeitaufwendig und teuer, so dass die Gefahr besteht, dass sinnvolle und nötige Änderungen nur verspätet oder gar nicht berücksichtigt werden können. Dies kann anschließend zu Lasten der Effizienz sowohl im Arbeitsprozess als auch bei der Organisation des Luftraumes gehen.

In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem neben Entwicklern auch Designer und Lotsen enger in den Entwicklungsprozess bei der Digitalisierung des Flugverkehrsführungsprozesses eingebunden wurden. Insbesondere die Einbindung von Designern für die Front End Entwicklung von Benutzeroberflächen stellt am Lotsenarbeitsplatz ein Novum dar. Durch die Erstellung und Überprüfung realistischer, interaktiver und mit Grundfunktionalitäten hinterlegter Mockups konnte so das Aussehen und die Handhabung künftiger Unterstützungsfunktionen bereits vor der eigentlichen Implementierung in kleinen iterativen Schritten validiert und bei Änderungswünschen der Nutzer leicht angepasst werden.

Als Anwendungs- und Testfall für den entwickelten Workflow wurde im Rahmen einer funktionalen Erweiterung eines Lotsenunterstützungssystems ein Radardisplay (Primary Display) für den oberen Luftraum als wichtigstes Human-Machine-Interface um neue Anzeige- und Eingabemöglichkeiten erweitert. Der Focus lag auf der Verbesserung des Graphical User Interfaces (GUI): Neben der Abwandlung von Farben und deren Kombinationen standen insbesondere die Benutzerführung und User-Experience im Vordergrund. Primäre Ziele waren Verbesserungen der Dateneingaben im Luftfahrzeug-Label, Auswahlboxen von Flugparametern und die Darstellung von Zusatzinformationen in Form von Trajektorien und meteorologischen Daten sowohl als Zahlenwerte als auch als geografische Flächendaten. Durch die frühzeitige Einbindung der Lotsen konnten bereits zu Beginn der Entwicklungsphase Einfluss auf Faktoren der User-Experience wie Farbgestaltung, Mausnutzung und Fenster- und Menübenutzerführung genommen werden. Dazu gehörten beispielsweise die Zuordnung von Mouse-over Funktionen genauso wie die Positionierung und das Andockverhalten von statischen und dynamischen Fenstern mit Informationen zu Flugplänen, Verkehrsflussstatistiken und meteorologischen Bedingungen im Sektor.

Um den neuen Workflow zu testen, wurden im Projekt ENVISION die Schritte der Ideenentwicklung, des Designs, der Validierung mit Fluglotsen und schließlich der Implementierung in das Zielsystem für Beispielfunktionalitäten durchgeführt. In einer Validierungskampagne wurden die entwickelten Funktionalitäten und der neue Arbeitsablauf fortlaufend evaluiert. Dieses Vorgehen erlaubte es den Entwicklern auch, zwischen Benutzerfunktionen mit homogenen Evaluierungsergebnissen und Funktionen mit differenzierten Bewertungen zu unterscheiden. Letzte wurden ausgewählt, in einem späteren Display anpassbar zu implementieren, so dass jede Lotsin und jeder Lotse in Abhängigkeit persönlicher Präferenzen diese über menügeführte Einstellungsoptionen gestalten und nutzen kann.

1. EINFÜHRUNG

Die Integration erweiterter Funktionalitäten und Anzeigen in den Fluglotsenarbeitsplatz oder Anpassung auf dem Luftlage-Display (Primary Display) sind immer noch zeitaufwendige und kostenintensive Prozesse [1]. Dies gilt

insbesondere, wenn Flugsicherungsdienstleister durch Privatisierung einem erhöhten Kostendruck ausgesetzt sind [2]. Fluglotsen (ATCO – Air Traffic Controller) als Endnutzer sind oft nur in der Konzeptphase und später als Tester nach Abschluss der Hauptentwicklungsphase beteiligt. Sie haben daher kaum die Möglichkeit, den Gestaltungsprozess durch strukturelles Feedback zu beeinflussen. Sobald die

Hauptentwicklungsphase abgeschlossen ist, sind elementare Änderungen am System kosten- und zeitintensiv [3]. Es besteht die Gefahr, dass nützliche und notwendige Änderungen erst spät oder gar nicht umgesetzt werden. Dies kann sich in der Folge sowohl negativ auf die Effizienz im Arbeitsprozess, als auch später bei der Führung des Luftraums, auswirken.

Wir stellen einen Ansatz vor, der im Rahmen des Projektes ENVISION umgesetzt wurde, bei dem neben den Entwicklern auch Designer und Fluglotsen stärker in den Entwicklungsprozess für die Digitalisierung des Flugverkehrsmanagementprozesses eingebunden wurden. Durch das Erstellen und Testen realistischer und interaktiver Mockups mit grundlegenden Funktionalitäten konnte das Aussehen und die Handhabung zukünftiger Unterstützungsfunktionen in kleinen iterativen Schritten vor der eigentlichen Implementierung validiert und bei Änderungswünschen der Nutzer leicht angepasst werden.

In ENVISION lag der Schwerpunkt auf den Verkehrslage-displays (Primary Display). Diese zentrale Schnittstelle des Lotsen wird in Zukunft noch wichtiger werden, wenn Software zur Unterstützung von Fluglotsen wie Arrival, Departure oder En-Route Manager eingesetzt werden. Die Anzeigen liefern Fluglotsen kontinuierlich Hinweise zur Organisation des Flugverkehrs. Wenn neue Unterstützungsfunktionen entwickelt werden, müssen diese nahtlos in das System und natürlich auch in den Arbeitsablauf integriert werden. Gleichzeitig muss eine Überfrachtung des Displays vermieden werden, da ansonsten wichtige Informationen übersehen werden und zu einem Verlust des Situationsbewusstseins führen könnten.

1.1. Die Center-Arbeitsposition des Fluglotsen

Für die visuelle Überwachung des oberen und unteren Luftraumes sowie den Flughafennahbereichen stehen Center-Lotsen Luftlage-Displays zur Verfügung, die je nach verwendetem System in fünf-Sekunden-Schritten oder häufiger einen aktualisierten Überblick über die Verkehrssituation im Luftraum auf einen zumeist quadratischen Bildschirm projizieren. Die reinen Positionsdaten werden durch zusätzliche Informationen aus den bordeigenen ADS-B-Transpondern (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast), CPDLC-Informationen (Controller Pilot Data Link Communication) und Flugplandaten sowie durch Informationen aus anderen Kontrollzentren ergänzt. Zusätzlich zu den aktuellen Fluglagedaten enthalten diese Daten auch aktuelle Steig- oder Sinkraten, freigegebene und empfohlene Höhen, Geschwindigkeiten oder Flugrichtungen sowie die nächsten FMS-Wegpunkte, geplante Landebahnen und Zielzeiten.

Die meisten Arbeitsplätze in Flugverkehrskontrollzentren auf der ganzen Welt sind Teamarbeitsplätze, an denen Radarlotse und Planer zusammenarbeiten, um den Flugverkehr in dem ihnen zugewiesenen Sektor sicher und effizient zu organisieren. Radarlotsen mit direktem Funkkontakt zur Besatzung nutzen eine direkte Führungsunterstützung durch die Systeme, während der Planer als Koordinator mit den benachbarten Sektoren eher von taktischen bis prätaktischen Funktionen profitiert. Unterstützungssoftware wird von kommerziellen Unternehmen entwickelt und an die Anforderungen des jeweiligen Centers in den verschiedenen Ländern angepasst. Der Funktionsumfang und das

verwendete Layout können dabei sehr unterschiedlich sein. Neben der reinen Anzeige von Informationen sind Radarsysteme heute oft mit weiteren automatischen Funktionen ausgestattet, die den Lotsen bei der Überwachung und Führung des Verkehrs unterstützen. Im oberen Luftraum sind dies zum Beispiel Systeme zur mittelfristigen Konflikterkennung (MTCD) [4] und zur kurzfristigen Konfliktwarnung (STCA) [5].

Zu den heute genutzten Fluglotsenunterstützungssystemen gehören u.a. Arrival Manager (AMAN), Departure Manager (DMAN) und Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS), die weltweit von verschiedenen Anbietern mit unterschiedlichen Ausstattungsmerkmalen vermarktet werden [6]. Gewöhnlich als Software-Tool in die Controller Working Position (CWP oder auch Air Traffic Control-Arbeitsposition) integriert, berechnen AMANs Anflugsequenzen und optimieren die Zielzeiten für wichtige Wegpunkte auf einer Trajektorienbasis [7]. DMAN andererseits berechnen Abflugsequenzen unter Berücksichtigung aktueller Gates, Flugzeugtypen, Slot Compliance und geplanter Abflugrouten [8]. Andere Systeme bieten zum Beispiel Entfernungsanzeigen für das Finale, um die Fluglotsen bei der Umsetzung der RECAT-Separationsvorschriften zu unterstützen [9].

Die Unterstützungssysteme werden jedoch erst dann ihr volles Potenzial erreichen, wenn sie miteinander gekoppelt sind und so eine globale Optimierung des gesamten Flugverkehrsmanagementsystems ermöglichen [10]. Deren Nutzung stellt für Fluglotsen eine besondere Herausforderung dar, da sie stets mit Maus, Stift und Tastatur und nicht mit weiteren zusätzlichen Werkzeugen wie einem Trackball oder einem Grafiktablett bedient werden sollten. Alle flugzeugspezifischen Anzeigen werden auf dem Luftlagebildschirm angezeigt und gesteuert. Um zu verhindern, dass Fluglotsen abweichende Flugmanöver oder drohende Konflikte übersehen, dürfen zusätzliche Anzeigen in Form von eingebetteten oder eingblendeten Fenstern und Daten keine verkehrsrelevanten Informationen überdecken. Dies gilt insbesondere für meteorologische Anzeigen von Großwetterlagen in der CWP [11]. Einerseits sind MET-Daten direkt für die Luftfahrt relevant, da beispielsweise Wind einen großen Einfluss auf die Flugleistung hat und schwere Wetterereignisse fast immer zu großräumigen Umleitungen führen, die das Risiko von Konflikten erheblich erhöhen können. Andererseits decken Wetterereignisse wie Gewitterfronten oft große Gebiete ab, was bei einer flächigen Visualisierung die Darstellung von Flugbewegungen auf einem Bildschirm einschränken könnte. Eine weitere allgemeine Herausforderung ist die Forderung, immer nur die Informationen bereitzustellen, die für die Fluglotsen in der jeweiligen Verkehrssituation gerade relevant sind sowie deren ablenkungsarme Darstellung.

1.2. Die Nutzerrolle bei der Entwicklung von Flugsicherungsschnittstellen

Bislang wurden die Nutzer zu Beginn des Entwicklungsprozesses für neue Fluglotsenarbeitsplätze vernachlässigt. Infolgedessen gibt es oft wenig situationsbezogenes Wissen über das mentale Modell des Benutzers [12] und seine Bedürfnisse während des Nutzungsprozesses [13]. Die Einbeziehung der Benutzer ist bei der Entwicklung neuer, zukunftsorientierter Human-Machine-Interfaces (HMI) besonders wichtig, um Verbesserungen effizient umzusetzen.

Umfragen und Diskussionen mit den Nutzern sind aufgrund der begrenzten Zeitressourcen von Lotsen besonders wertvoll für den Prozess und müssen ressourcenschonend und effizient umgesetzt werden. Das wird besonders wichtig, da KI-basierte Unterstützungssysteme in naher Zukunft wahrscheinlich auch im Bereich der Flugsicherung eingesetzt werden, was bedeutet, dass neue und bisher unbekannte Funktionalitäten und deren Benutzeroberflächen zu den CWP's hinzukommen werden [14] & [15]. Das Problem könnte sich durch die Einführung von Single Controller Operations (SCO) [16] oder Flight Centric Operations [17] noch verschärfen. Diese Technologien und Verfahren werden völlig neue Arbeitsumgebungen erfordern, die zum Teil anderen Randbedingungen unterliegen als die heute gewohnten. Eine komplexe Neuentwicklung des gesamten Lotsenarbeitsplatzes mit Möglichkeit zur schnellen Adaption von Änderungen und Wandel wird notwendig sein, deren Umsetzung durch einen agilen und iterativen Prozess deutlich erleichtert werden könnte. Dabei werden die Endnutzer von Anfang an umfassend einbezogen.

1.3. Randbedingungen

Die Entwicklung und Implementierung neuer Unterstützungssysteme für die Arbeitsplätze der Center-Lotsen sind immer komplex, zeitaufwändig und sicherheitskritisch. Jede Softwareänderung muss gründlich auf ihren Nutzen für die Fluglotsen und ihre Sicherheit für den Flugbetrieb hin analysiert werden. Aus der Sicht des Entwicklers ist es notwendig, jede Eingabemöglichkeit, jede Informationsanzeige und jede neue Kontrollfunktion mit den Lotsen zu testen und Rückmeldungen darüber zu erhalten, inwieweit die Funktionen den Kriterien entsprechen. Da jedoch Funktionen zur Unterstützung der Lotsen und ihre spezifischen Anzeigen derzeit erst nach ihrer komplexen Implementierung an einem Lotsenarbeitsplatz in realistischen Simulationen und im realen Betrieb getestet werden können, führt dies zwangsläufig dazu, dass Systeme und Anzeigen in mehreren Iterationen mit hohem Zeitaufwand Schritt für Schritt im bereits hoch komplexen fertigen System angepasst und optimiert werden müssen.

Um diesen Anpassungsprozess zu vereinfachen und zu beschleunigen, wäre es aus Sicht von Fluglotsen und Entwicklern sehr zu begrüßen, wenn Implementierungen im Vorfeld getestet und optimiert werden könnten. Der Einsatz eines Mockup-Systems ist insbesondere bei grundlegenden Innovationen, die nicht auf einem bestehenden System basieren können, wünschenswert [18]. Es sollte das gleiche „Look and Feel“ wie das endgültige System aufweisen, sich aber schnell und einfach anpassen und ändern lassen. Die eigentlichen Funktionalitäten werden erst dann in das System implementiert, wenn die Benutzeroberfläche mit den Lotsen evaluiert wurde und alle Bestandteile der Software mit ihnen harmonisiert sind.

2. DER NEUE ENTWICKLUNGSPROZESS

Heute beginnt ein Software Entwicklungsprojekt im Air Traffic Control (ATC) Umfeld zumeist mit einer von einem Kunden erstellten Ausschreibungsspezifikation, die bereits Anforderungen an die HMIs stellt. Die Industrie antwortet auf die Ausschreibung mit einem Angebot, das Produkthanforderungen, Screenshots von bestehenden Lösungen und Skizzen von zu entwickelnden HMIs enthält. Nach der Auftragsvergabe beginnt der Lösungsanbieter zusammen mit

dem Kunden eine Spezifikationsphase. Die Projektleitung des Lösungsanbieters und der Kunde haben das gemeinsame Ziel, die HMI-Spezifikation so schnell wie möglich zu definieren. Die Spezifikationsphase umfasst dabei üblicherweise einen dem gesamten restlichen Prozess vorausgehenden HMI-Workshop, in dem Kunde und Lösungsanbieter das bestehende HMI diskutieren und der Lösungsanbieter Design-Ideen für neue HMI-Elemente vorstellt. Da beide Parteien das Problem der begrenzten Ressourcen teilen, nehmen auf Kundenseite an aktuellen Projekten nur sehr wenige Lotsen an dem Workshop teil, oft sind nicht einmal alle verschiedenen Benutzergruppen von Tower-, Approach- und Sektor-Controllern beteiligt. Die Lotsen entscheiden dort über vorgestellte Lösungen und können ihre Bedenken äußern. In der Projektphase werden die Aktionspunkte konsolidiert. Sobald beide Parteien die HMI-Spezifikation als ausgereift betrachten, beginnen die Software-Arbeiten an den neuen oder geänderten Funktionen. Der Kunde erhält möglicherweise eine begrenzte Anzahl von frühen Versionen der Software, um die Entwicklung vor dem ersten Abnahmetest überprüfen zu können. Der Gesamtprozess funktioniert, könnte aber verbessert werden, da der Entscheidungsfindungsprozess während eines HMI-Workshops kurz und unzureichend ist. Er führt häufig zu einem überstürzten Konsens, ohne dass die Controller ausreichend Zeit haben, die Vor- und Nachteile der vorgestellten neuen Arbeitsabläufe abzuwägen. Durch fehlende Tests und sehr generelle Aussagen über die Software ist es nicht möglich, ein erstes Gefühl für die Arbeit mit neuen Funktionalitäten zu erlangen. Auch die technischen Abstraktionen sind eine Herausforderung für die Endnutzer, da Wireframes, Zeichnungen, Anwendungsfälle und Anforderungen zu abstrakt sind, um sich effektiv damit auseinanderzusetzen.

Dies ist ein Problem für den Lösungsanbieter, da erhebliche Fehler bereits in den frühen Phasen des Designs erkannt werden müssen, um kostspielige Neuentwicklungen zu vermeiden. Diese Defizite ließen sich durch einen agilen Ansatz und die Einbeziehung von UI-Designern als Teil des Projektteams in der Spezifikationsphase vermeiden [19]. Die Flugsicherungsbranche steht jedoch bei der Umsetzung agiler Methoden, die in anderen Branchen üblich sind, vor besonderen Herausforderungen, denn die Durchführung wiederholter HMI-Workshops mit einer größeren Gruppe von Fluglotsen ist aufgrund finanzieller, zeitlicher und ressourcenbezogener Einschränkungen unpraktisch und damit oft genug undurchführbar. Auch ist die Erstellung mehrerer HMI-Prototypen unverhältnismäßig teuer. Deren Präsentation erfordert entweder ein persönliches Gespräch zwischen Controllern und Entwicklern oder die Möglichkeit für Controller, die Prototypensoftware unabhängig zu bedienen. Darüber hinaus hindern die Sicherheitsrichtlinien der Flugsicherung die Fluglotsen daran, Software auf ihren Systemen zu installieren. Heutige ATC-Ausschreibungsspezifikationen kollidieren also oft mit agilen Methoden aufgrund der festen formalen Spezifikationen, der vordefinierten Zeitpläne, der festen Preise und des fehlenden Engagements des Kunden.

2.1. Der interdisziplinäre Ansatz

Der in ENVISON verwendete Workflow für die Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) basiert auf dem iterativen Verfahren nach DIN EN ISO 9241-210, bei dem der Benutzer im Mittelpunkt des Prozesses steht [20]. Beim benutzerzentrierten Design-Prozess gehen Software-

entwicklung und Design in einem iterativen Prozess Hand in Hand, bei dem die Meinungen der Benutzer und Fachexperten als Interessenvertreter immer in den Prozess integriert werden (BILD 1).

Um die Inhalte des Projekts mit möglichst vielfältigem Fachwissen anzugehen, muss ein interdisziplinäres Team mit in den Prozess eingebunden werden, auch wenn dies zunächst zu einem erhöhten Aufwand bei der Kommunikation untereinander und der Koordination innerhalb des Teams führt [21]. Um die individuellen Bedürfnisse der Beteiligten zu klären und eine gemeinsame Sprache zu finden [22], wurden interdisziplinäre Workshops in den ENVISION Entwicklungsprozess integriert [23].

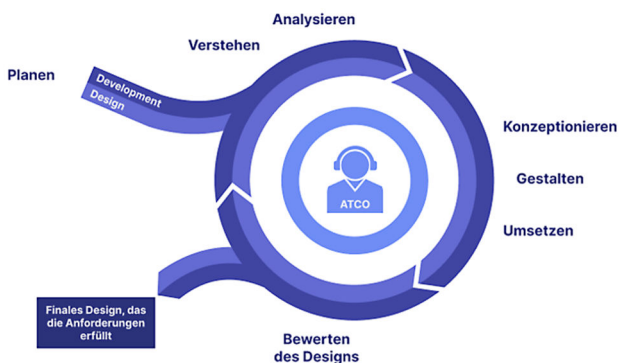


BILD 1. Der menschenzentrierte Designprozess gemäß DIN EN ISO 9241-210.

In den unterschiedlich gestalteten Workshops konnten die verschiedenen Perspektiven der Beteiligten [24] zu bestimmten Schwerpunkten des Projekts herausgearbeitet werden. Dies ist wichtig, um die Erwartungen aller Projektbeteiligten zu ermitteln, sie mit dem aktuellen Prozess zu vergleichen und sie im Laufe des Projekts mit den neuen Erkenntnissen neu zu justieren. Es muss jedoch vermieden werden, zu starr nach DIN EN ISO 9241-210 zu arbeiten, um ein iterativeres und rekursives Vorgehen im Designprozess [25] und einen agilen Ansatz zu gewährleisten [13]. Funktioniert der Prozess, werden die Entwickler der Software auch als Benutzer angesehen, da die Entwickler selbst zu Benutzern ihres eigenen Systems werden, wenn in der Zukunft Anpassungen vorgenommen werden.

Im Umgang mit Anwendern haben sich in der Vergangenheit Workshops als äußerst produktives Werkzeug erwiesen [23]. Da es für Nutzer oft eine größere Herausforderung darstellt, ihr mentales Modell für Entwickler adäquat zu kommunizieren, muss zunächst der Status Quo herausgearbeitet werden [13]. Die Grundlage dafür ist der respektvolle und freundliche Umgang mit dem zukünftigen Benutzer [22], um Empathie und somit auch das Vertrauen von Nutzern zu gewinnen [21]. Prototypen ermöglichen es, die Erwartungen und Wünsche des Nutzers möglichst schnell mit der Software und ihren Funktionen in Einklang zu bringen [23]. In ENVISION wurden die Software Adobe XD und Figma genutzt, um visuelle Prototypen zu entwickeln, die bereits erste Interaktionselemente enthielten. Das Ziel war es, ein Gefühl für die entworfenen Elemente zu vermitteln, um so eine valide Grundlage für die weiteren Entwicklungen zu erhalten.

Ein gut durchdachtes Design mit einer gut gestalteten Benutzeroberfläche hilft, die Komplexität eines Systems zu

bewältigen [26]. Um das zu erreichen, wurden viele Iterationsrunden in den Designprozess integriert (BILD 2). In Workshops und Online-Meetings wurden die Ergebnisse immer wieder miteinander verglichen und durch eine entsprechende Dokumentation ergänzt.



BILD 2. Iteration im Gestaltungsprozess: Ausschnitt aus einer Iteration des ENVISION-Projektes.

Gleichzeitig wurden die ausgereiften Entwicklungsergebnisse vom Entwicklungsteam in funktionsfähige Software implementiert. An den Stellen in der Software, an denen die User-Experience einen Verbesserungsbedarf oder die Möglichkeit weiterer Anpassungen und Veränderungen aufzeigte, wurde die Software so gestaltet, dass spätere Änderungen möglich sind und somit die Zukunftsfähigkeit der Software gewährleistet wird.

2.2. Herausforderungen bei der Gestaltung einer Lotsenarbeitsplatzumgebung

Für Flugverkehrsmanagement-Software gelten besondere Einschränkungen, die bereits zu Beginn des Design- und Softwareentwicklungsprozesses berücksichtigt werden müssen.

Der Bereich der Flugsicherung ist eine sicherheitskritische Umgebung, da jeder Aspekt eines neu entwickelten Lotsenarbeitsplatzes und jede Änderung an bestehender Software keine negativen Auswirkungen auf die Sicherheit des Gesamtsystems haben darf. Einige Informationen müssen für Fluglotsen immer zugänglich und deutlich sichtbar sein, z.B. Position und Höhe von Luftfahrzeugen oder Hilfsfunktionen wie Konfliktwarnungen. Aus diesem Grund ziehen es Lotsen vor, so wenig zusätzliche Informationen wie möglich auf ihrem Bildschirm zu haben, und lehnen vorgeschlagene Änderungen und Ergänzungen an ihren Systemen häufig ab. Da neue Funktionen auch Änderungen im Layout der Anzeige bedeuten, ist es wichtig, ein Gleichgewicht zwischen der Anzeige aller notwendigen und hilfreichen Informationen zu finden, aber nicht so viel, dass sie von sicherheitskritischen Daten ablenken oder diese verdecken

Ein- und Ausgaben neuer Unterstützungssysteme müssen ebenfalls auf verständliche Weise in die Benutzeroberfläche von Lotsen integriert werden. Diese können zwar bei der Bewältigung eines höheren Verkehrsaufkommens oder beim Erreichen einer höheren Effizienz helfen, dürfen aber nicht von sicherheitsrelevanten Informationen ablenken. Ein weiterer Faktor, der im Bereich der Flugverkehrskontrolle berücksichtigt werden muss, sind die unterschiedlichen Arbeitsabläufe und damit Anforderungen der Fluglotsen an die verwendete Software. Das erfordert, dass die Software flexibel konfigurierbar sein muss, so dass sie zu den jeweiligen Anwendungsfällen passt. Einige Fluglotsen ziehen es vor, mehr Informationen auf dem Bildschirm zu erhalten, andere wiederum möchten nur ein Minimum an Daten sehen, um sich auf das Wesentliche zu konzentrieren. Diese Anforderungen können sich im Laufe eines Tages ändern.

2.3. Design-Entwicklung

Um die Arbeitsumgebung des Fluglotsen so ablenkungsfrei wie möglich zu gestalten, wurde eine monochrome Oberfläche mit einem kontrastarmen Design angestrebt. Die Verwendung von reinem Schwarz und reinem Weiß wurde vermieden, stattdessen wurden abgeschwächte Farben sowie bläuliche Töne verwendet. Zusätzlich zu den sanften Farben wurden einige reine Farben verwendet, um auf zeitkritische Gefahrensituationen hinzuweisen. Die Farbwahl zielt auf eine gedeckte Palette ab, so dass reine und extreme Farben, mit denen Abweichungen vom Standard markiert werden, eine größere Strahlkraft haben. Diese auffälligeren Farben sind notwendig, damit Situationen, die die Aufmerksamkeit erfordern, sofort ins Auge fallen. BILD 3 zeigt, wie die Wirkung verschiedener Farben für das Menü und die Listen auf dem dunklen, bläulichen Hintergrund getestet wurde. Die Lesbarkeit und Unterscheidbarkeit von Informationen spielte dabei immer eine zentrale Rolle. Das wiederholte Ausprobieren neuer visueller Lösungen und das Hinterfragen von Gestaltungsansätzen führte zu einer Vielzahl von Lösungen, die im ersten Schritt immer intern evaluiert wurden.

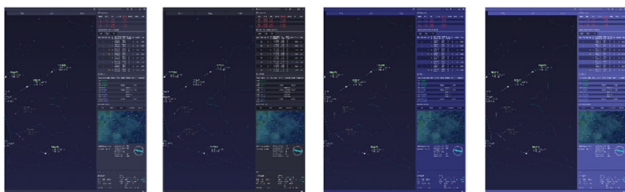


BILD 3. Tests mit unterschiedlichen Farbkombinationen für Menüs und Zusatzinformationen.

Das Layout der Benutzeroberfläche zeichnet sich durch klare Geometrien in Form von überwiegend rechteckigen Elementen aus, die durch unaufgeregte, flache Farbflächen ein klares und übersichtliches Erscheinungsbild erzeugen. Auf zusätzliche Gestaltungselemente wie dreidimensionale Effekte oder auffällige Trennlinien wurde weitestgehend verzichtet, um eine aufgeräumte und ablenkungsfreie Optik zu erreichen. Die Funktionsbereiche der Software auf dem Bildschirm wurden klar voneinander getrennt, um eine bessere Übersicht zu gewährleisten (BILD 4). Besonders wichtig war den Usability Experten, dass alle permanent angezeigten Zusatzinformationen in Form von Listen in einer Seitenleiste die Möglichkeit einer Sortierung boten, so dass keine Informationen auf dem Radarbildschirm verdeckt werden und leicht zu finden sind. Um die Interaktion mit der Software zu vereinfachen, sollten alle Bedienelemente, die sich in ihrer Funktion ähneln, das gleiche Design haben. So werden beispielsweise Zahlenwerte immer gleich eingestellt und Fenster unterliegen immer derselben Funktionalität und Interaktionsprinzipien.

Um die Struktur der Software intuitiv verständlich zu gestalten, sind die Bedienelemente in funktionalen Gruppen zusammengefasst und ohne zusätzliche Gestaltungselemente klar voneinander abgegrenzt sowie die Positionen der Elemente logisch angeordnet.

Einheitliche Größen und Abstände zueinander erzeugen ein harmonisches Erscheinungsbild. Im Detail bedeutet das, dass alle komplexeren Menüs und Befehle am oberen Bildschirmrand nebeneinander angeordnet sind, die Werkzeuge zur Erleichterung der Arbeit des Lotsen auf der

linken Seite und einfache Einstellungen und Filter am unteren Bildschirmrand. Nebeneinander liegende Elemente haben eine ähnliche Funktion.

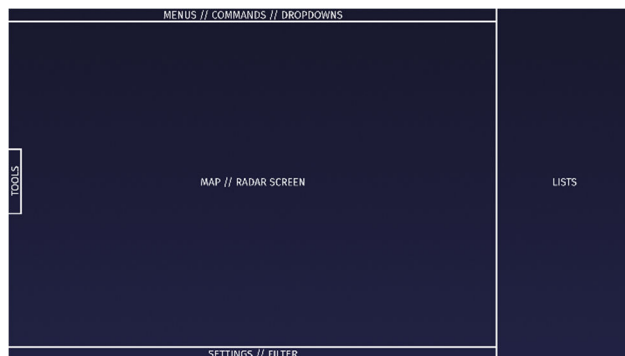


BILD 4. Das neue Layout strukturiert das HMI in klar getrennte Bereiche mit unterschiedlichen Anzeigen und Funktionen.

Oben bei den Befehlen und Menüs klappt immer ein zusätzliches Drop-Down-Menü aus, so dass ein Befehl nicht direkt beim Berühren einer Schaltfläche ausgelöst wird. Unten hingegen werden Aktionen direkt ausgelöst, wenn die Schaltfläche, die beispielsweise einen Filter für die Tracks ermöglicht, in der Fußzeile aktiviert wird. Die Werkzeuge auf der linken Seite können den Mauszeiger verändern oder eine visuelle Veränderung in der Anzeige auslösen, sie haben aber keine direkte Auswirkung auf den Luftverkehr. Deshalb sind sie gesondert platziert, so dass sie nicht mit anderen Funktionen verwechselt werden können.



BILD 5. Durch das kontrastarme Grund-Layout sind Warnungen und Status der Luftfahrzeuge schnell zu erkennen.

Der Screenshot in BILD 5 zeigt, wie kontrastarme Farben angewandt wurden. Kontrastreiche Farben wurden nur an Stellen verwendet, an denen der Lotse eine Maßnahme ergreifen sollte, beispielsweise die Annahme oder Zurückweisung eines Flugzeugs. Warnfarben wie Gelb und Rot werden noch sparsamer eingesetzt, da sie Warnungen visualisieren, die eine direkte Reaktion des Fluglotsen erfordern.

3. DIE EVALUIERUNG

Der gesamte entwickelte Arbeitsablauf wurde im Herbst 2023 in einer Evaluationskampagne beim DLR durchlaufen. Einer der wichtigsten Schritte war dabei das Sammeln vom Feedback der Fluglotsen.

3.1. Der Haupt-Workshop

Um das Design mithilfe eines unter Figma erstellten Mockups zu evaluieren, wurden neu gestaltete Funktionen prototypisch in eine Controller-Arbeitsposition mithilfe

einiger Interaktionselemente für einen Evaluierungsworkshop vorbereitet. Von den sechs Testpersonen waren drei aktive Fluglotsen und drei Fluglotsen im Ruhestand.

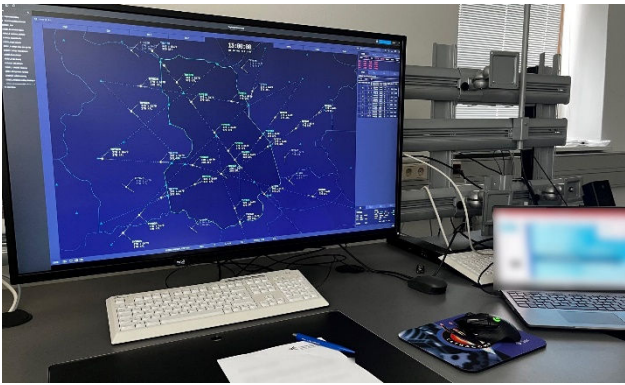


BILD 6. Der Demo-Arbeitsplatz zur Evaluierung.

Zunächst gab es eine Einführung in die Mockups auf einer Demo-Arbeitsposition (BILD 6). Die Teilnehmer hatten ein paar Minuten Zeit, um sich mit jedem Mockup aktiv vertraut zu machen und Fragen zu stellen. Anschließend erhielten sie einen Feedback-Fragebogen. Im Rahmen der Validierungskampagne wurden fünf interaktive und teils statische Mockups vorgestellt (BILD 7 bis BILD 11).



BILD 7. Die Benutzer konnten sich mit dem Air Situation Display Layout und dem Farbschema vertraut machen. Der einzige interaktive Teil dieses Mockups war eine Hover-Funktion für die Beschriftung der Tracks, um zusätzliche Informationen angezeigt zu bekommen.



BILD 8. Die Track-Label als Informationsquelle und Interaktionselement wurden in den Mockups für zwei verschiedene Menüstile erstellt. Sich öffnende Menüs waren interaktiv und der Status der Track-Labels konnte durch Auswahl des Menüeintrags geändert werden. Die Probanden nutzten und bewerteten beide Versionen.



BILD 9. Die Farben des Track-Label Designs markieren in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung unterschiedliche Flugzeugzustände.



BILD 10. Mithilfe des Floating-Window-Layouts ist es möglich, zusätzliche Informationen anzuzeigen und nahezu komplett frei auf dem Radarbildschirm zu platzieren. Abhängig von der Sektorstruktur kann so die Bildschirmfläche optimal ausgenutzt werden, ohne die Überlagerung wichtiger Informationen zu riskieren.



BILD 11. Die Layout-Modelle ermöglichen die Integration von erweiterten Unterstützungssystemen wie Arrival Manager und Freigaben über CPDLC. Auf der Grundlage von Flugbahnen werden Konflikte erkannt und mit integriertem MTCD und STCA in Kombination mit Vorschlägen zur Lösung der Konflikte oder zur Optimierung der Flugrouten angezeigt.

3.2. Die Fragebögen

User Experience Questionnaires (UEQ) sind ein weit verbreitetes Verfahren zur Bewertung des Benutzererlebnisses interaktiver Produkte und Systeme [27]. Der UEQ bietet einen strukturierten Ansatz zur Bewertung verschiedener Aspekte der Benutzererfahrung, der sowohl pragmatische als auch hedonistische Qualitäten umfasst. Seine

Prägnanz und seine Fähigkeit, gleichzeitig positive und negative Aspekte zu erfassen, machen ihn zu einem idealen Werkzeug für iterative Design-Workflows.

Im angewandten Workflow für ATC-Arbeitspositionen diente der UEQ(S)-Fragebogen als grundlegende Komponente für die Sammlung von Benutzer-Feedback zu neu vorgeschlagenen Funktionen, die mit Figma Mockups präsentiert wurden. Der Fragebogen besteht aus standardisierten Fragen, die eine konsistente Bewertung über verschiedene Iterationen und Funktionen hinweg ermöglichen und so eine vergleichende Analyse und iterative und strukturierte Verbesserungen erleichtern. Der UEQ(S)-Fragebogen umfasst die sechs Skalen Attraktivität, Verständlichkeit, Effizienz, Zuverlässigkeit, Stimulation und Neuartigkeit, die jeweils spezifische Dimensionen der Benutzererfahrung einschließen. Diese Skalen sind vor allem im Bereich der Flugsicherungssysteme von Bedeutung, wo Benutzerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und kognitive Belastung kritische Faktoren sind, die sich auf die betriebliche Effizienz und Sicherheit auswirken.

Darüber hinaus bietet die Kurzversion des UEQ einen Ansatz, die Belastung der Befragten und die Länge des Fragebogens zu minimieren und dennoch aussagekräftige Einblicke in die Benutzererfahrung zu gewähren. Dies war besonders vorteilhaft im verwendeten iterativen Design-Workflow, bei dem häufige Präsentationen von Funktionen eine effiziente Datenerfassung und -analyse erforderten. Zusätzlich zu den standardisierten UEQ-Skalen waren in den Fragebögen anwenderspezifische Fragen integriert, die auf den spezifischen Kontext des Flugsicherungsbetriebs und das jeweilige Feature zugeschnitten waren. Sie gingen tiefer auf die domänenspezifischen Belange ein, wie beispielsweise die Relevanz der Aufgabe, die Klarheit der Informationen und die Systemintegration.

Die Probanden mussten eine persönliche Einschätzung mithilfe von acht Parametern abgeben, die in jeweils sieben Stufen unterteilt waren. Die Parameter umfassten die Aspekte hinderlich bis unterstützend, kompliziert bis einfach, ineffizient bis effizient, verwirrend bis klar, langweilig bis aufregend, konventionell bis einfallsreich und gewöhnlich bis hochmodern.

3.3. Der Remote-Workshop

Die Durchführung eines Workshops ist immer mit hohen Kosten und Aufwand verbunden: Jeder Teilnehmer muss zum Veranstaltungsort reisen, es werden mehrere Betreuer benötigt, um die Testperson zu unterstützen, anzuleiten und Protokoll zu führen. Es kostet auch viel Zeit, dass jeweils nur eine Testperson den Workshop gleichzeitig durchführen kann, wodurch die Kosten mit der Anzahl der Probanden spürbar ansteigt. Für eine aussagekräftige Bewertung ist es jedoch notwendig, möglichst viele Teilnehmer einzubeziehen, und wie bereits beschrieben, müssen diese iterativen Überprüfungsworkshops regelmäßig durchgeführt werden. Daher wurde eine Möglichkeit getestet, wie man mehr Teilnehmer regelmäßig in einen solchen Überprüfungsworkshop einbeziehen kann, indem mindestens ein Follow-Up Workshop ortsunabhängig durchgeführt wird.

Die Figma-Modelle können in einem Browser-Fenster betrachtet und genutzt werden und es gibt zahlreiche Tools

zur Erstellung von online-Fragebögen. So konnte das Material an die Teilnehmer verschickt werden und es war möglich, dass sie den Workshop selbstständig und mit ihrer eigenen Zeiteinteilung durchführen konnten. Dennoch gibt es einige Herausforderungen bei der Anwendung dieses Verfahrens. Wenn die Evaluationsziele und die Designs nicht umfassend erklärt werden, verstehen die Probanden möglicherweise nicht alle Funktionen und Fragestellungen. Durch die eigene Zeiteinteilung können kurzfristige Rückfragen nicht so leicht geklärt werden wie bei einem persönlichen Gespräch. Dies lässt sich etwas abmildern, indem Mockups ausführliche Erklärungen beigefügt werden. Gerade bei Design-Fragestellungen tritt aber noch ein weiteres Problem auf. Die Hardware ist bei jedem Teilnehmer unterschiedlich, so dass die Mockups möglicherweise nicht wie ursprünglich entwickelt aussehen. Dann können unkalibrierte Monitore oder ungünstige Größen (Seitenverhältnisse) und Monitorauflösung einen deutlichen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung haben.



BILD 12. Beispiel einer Wetterdarstellung auf dem Verkehrslage-Display.

Um die Durchführbarkeit eines Remote-Workshops zu testen, stellten sich drei Teilnehmer des ersten Projekt-Workshops zur Verfügung, um am Remote-Folge-Workshop wenige Wochen nach dem ersten teilzunehmen, nachdem viele Anregungen des ersten Workshops umgesetzt und implementiert worden waren. Zusätzlich wurde der Schwerpunkt auf die Darstellung von Wetter verschoben. Online-Fragebögen wurden mit Lime Survey erstellt, deren Struktur mit denen aus dem Haupt-Workshop identisch war. Die Fragen des zweiten Teils wurden aus dem ersten Workshop übernommen, um auch eine Auswertung zu Veränderungen zu ermöglichen. Da die Benutzer den Workshop allein und ohne Anleitung durchführen mussten, war es notwendig, detaillierte Erklärungen zu den einzelnen Mockups mitzuliefern. Daher wurden ausführliche Beschreibungen zu den Prototypen und möglichen Interaktionen erstellt und mit den Fragebögen kombiniert, um die Probanden durch den Fragenkatalog zu führen. Ähnlich wie beim Haupt-Workshop waren die Wetter Mockups auf fünf verschiedene Themen ausgerichtet, die aber aus Platzgründen nicht für eine permanente Anzeige ausgelegt waren. Sie sollten nur bei Bedarf vom Controller geöffnet und geschlossen werden können. Im Online-Workshop ging es neben der Einarbeitung des Feedbacks um die Darstellung von signifikantem Wetter auf dem Verkehrslage-Display (Primary Display) (BILD 12), die Freigaben-Darstellung (Advisorys) zur Wetterumfliegung und grafische Wetterinformationen in der Seitenleiste.

4. DIE ERGEBNISSE AUS DEN WORKSHOPS

Die quantitative Analyse der UEQ(S)-Daten liefert eine detaillierte Bewertung der Benutzererfahrung über verschiedene Funktionen der Flugsicherungsschnittstelle. Mit der Auswertung der verschiedenen Skalen im UEQ(S) wurde für jede vorgestellte Funktion eine Punktzahl für die pragmatische Qualität, die hedonische Qualität und die Gesamtqualität ermittelt. Zu den vorgestellten Funktionen gehörten die Anzeige der Luftlage (Air Situation Display), die Gestaltung der Track-Label (Track-Label Design), die Interaktion mit den Track-Labeln (Track-Label Interaction), das Layout mit verschiebbaren Fenstern (Floating Windows), das Layout mit statischen Fenstern in der Seitenleiste (Layout Sidebar) und die verschiedenen Konflikthinweise (Conflict Advisories). BILD 13 zeigt für jedes Merkmal die Gesamtbewertungen, die sich aus einer hedonischen und einer pragmatischen Bewertung zusammensetzen und folgendermaßen interpretiert werden können: Maximal- und Minimalwerte sind 3 und -3. Jeder Wert über 1,6 kann als ausgezeichnetes Ergebnis angesehen werden, Ergebnisse zwischen 0,8 und 1,6 sind überdurchschnittlich. Werte zwischen -0,8 und 0,8 stellen eine neutrale Bewertung dar. Alles darunter ist ein negatives Ergebnis [27].

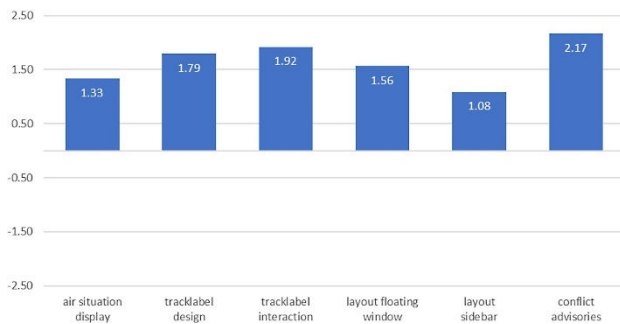


BILD 13. Gesamtqualitätsbewertung der einzelnen Mockup-Funktionen. Sie setzt sich aus einer jeweils separat durchgeführten hedonischen und einer pragmatischen Bewertung zusammen. Deshalb können hier auch keine sinnvollen Aussagen zur Streuung gemacht werden.

Die höchste Bewertung über alle untersuchten Parameter erhielten die Darstellung und Funktionalitäten von Konflikthinweisen. Mit einer Bewertung von 2.17 waren sich alle Teilnehmer einig, dass sowohl die Art der Darstellung als auch die damit einhergehenden Funktionalitäten einen deutlichen Mehrwert bei der Arbeit bieten würden. Ebenfalls überdurchschnittlich hoch wurden die neuen Funktionen von Track-Labeln und deren Design mit 1,92 und 1,79 bewertet. Stellen sie durch die Einführung neuer Unterstützungssysteme eine der wichtigsten Schnittstellen zu Überwachungs- und Planungssystemen dar, müssen sie sich später nahtlos und unkompliziert in den heutigen Arbeitsablauf der Verkehrsorganisation einfügen. Positiv, aber nicht ganz so unumstritten, wurde der Nutzen und der Aufbau der Floating Windows bewertet, die sich zwar an die individuellen Bedürfnisse der Lotsen anpassen lassen, aber manchmal in der operationellen Nutzung erst gesucht werden müssen. Durch die individuelle Positionierung verbunden mit der Verschiebung der dazugehörigen Funktionalitäten kann es in kritischen Situationen zu Verzögerungen im Arbeitsablauf kommen.

Das Gesamterscheinungsbild, also die Farbwahl, Schriftart

und deren Größe, Symbolik und der thematische Aufbau wurde mit 1,33 bewertet und in den Kommentaren als sehr logisch, klar und nachvollziehbar eingeschätzt. Die Ausnahme stellte nur die Sidebar dar, die zwar immer noch mit durchschnittlich 1,08 bewertet wurde, aber gleichzeitig auch als das grafisch und funktional schwächste Element im gesamten Aufbau betrachtet wurde. Dieses Seitenfenster erlaubt es, eine Vielzahl an Informationen einzublenden, doch wurden diese als teilweise überflüssig oder sogar ablenkend eingeschätzt.

Nach den Iterationen mit den integrierten Änderungswünschen stellten alle Probanden fest, dass sie das neue System ihrem eigenen aktuellen Bildschirm-Design von ihren Arbeitsplätzen vorziehen würden, da der funktionale Aufbau, die Farbgestaltung und die Symbolik ein großer Fortschritt gegenüber ihrer Arbeitsplatzsituation darstellen würden.

4.1. Die Work-Flow Evaluierung

Das eigentliche Ziel des Projektes war jedoch nicht die Umsetzung eines neuen Verkehrslagedisplays, sondern die Entwicklung eines neuen und deutlich interaktiveren Implementierungsprozesses, bei dem Fluglotsen als Endnutzer enger in den Designprozess integriert werden sollten. Für die Prozess-Evaluierung wurden die Teilnehmer gebeten, Aussagen über den Arbeitsablauf bei der Mitwirkung am Gestaltungsprozess zu bewerten. Den Teilnehmern wurden dazu sechs spezifische Aussagen über den Arbeitsablauf und ihre Meinung zur Mitwirkung an der Gestaltung der CWP vorgelegt (erklärende Ergänzungen in eckigen Klammern):

- Ich kann mir sehr gut vorstellen, durch den Designbewertungsprozess regelmäßig in den Designprozess einbezogen zu werden.
- Ich halte den Bewertungsprozess für unnötig komplex.
- Ich kann mir vorstellen, dass die meisten ATCOs den Bewertungsprozess schnell verstehen.
- Ich verfügte über genügend Informationen, um am Design-Bewertungsprozess teilzunehmen.
- Die Mockups hatten genügend Funktionalität/ enthielten genügend Informationen [für eine Bewertung].
- Ich denke, es ist wichtig, dass ATCOs frühzeitig in den Designprozess eingebunden werden.

Die anschließende Auswertung der Antworten zeigte eine hohe Zufriedenheit der Probanden bei der Umsetzung des Designprozesses, obwohl die Begleitung eines solchen Prozesses nicht zu den täglichen Aufgaben eines Lotsen gehört (BILD 14). Die Antworten der sechs Teilnehmer reichten auf einer Skala von 0 (stimme überhaupt nicht zu) bis 4 (stimme voll und ganz zu). Die höchste Zustimmung fanden die Aussagen a) und f). Dadurch wurde die persönliche Einstellung der Lotsen deutlich, dass diese sich gerne sowohl frühzeitig als auch in eigener Person in Entwicklungsprozesse einbinden lassen wollen. Die Bewertung der Fragen c) und e) betonen, dass sie dafür mit ihrer Arbeitsumgebung genügend vertraut sind und das nötige Vorstellungsvermögen haben, um aus einfachen Mockups problemlos eine spätere intensive Nutzung mental extrapolieren zu können. Die Antworten aus b) und d) stellen darüber hinaus klar, dass dieser Evaluierungsprozess weder zu komplex noch zu informationslastig ist, als dass sie von

Lotsen nicht bewältigt werden könnte.

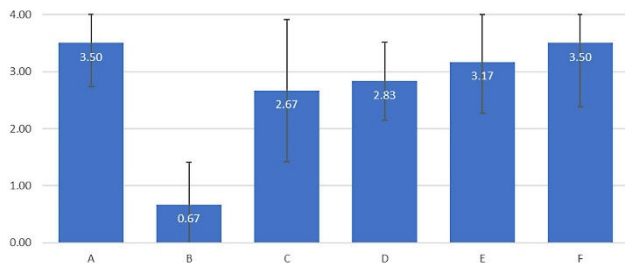


BILD 14. Auswertung der Workshop-Rückmeldungen mit sechs aktiven Fluglotsen.

Noch eindeutiger fielen die Ergebnisse der Befragung nach dem remote durchgeführten Follow-Up Workshop aus, bei dem die Probanden ihre Vorschläge direkt umgesetzt sahen und mithilfe der Mockups ihre vorgeschlagenen Funktionalitäten auch direkt ausprobieren konnten. Allerdings sind diese Ergebnisse deutlich weniger aussagekräftig als aus dem ersten Workshop, da dieses Mal nur drei Probanden teilnahmen (BILD 15). Aus der Evaluierung lässt sich lediglich ableiten, dass keiner der Teilnehmer unzufrieden mit der Durchführung war.

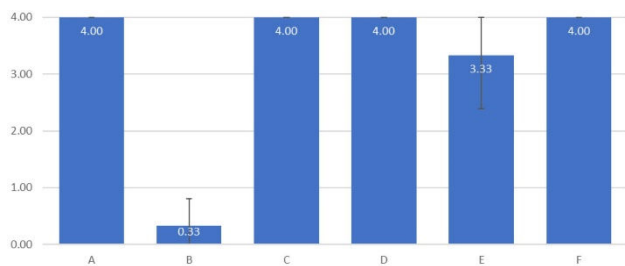


BILD 15. Auswertung der Workflow-Anweisungen aus dem Follow-Up Workshop.

5. DISKUSSION UND AUSBLICK

Das Feedback zum örtlichen Hauptworkshop und den vorgestellten Mockups war durchweg positiv und zeigte sehr deutlich, dass die Teilnehmer die Idee unterstützten, ATCOs in den Entwicklungsprozess ihrer eigenen Unterstützungssoftware einzubeziehen.

Die relativ geringe Teilnehmerzahl insbesondere beim remote und damit komplett digital durchgeführten Follow-Up Workshop erlaubt es jedoch nicht, statistisch signifikante Aussagen über den Zustimmungsgrad zur frühzeitigen Einbindung von Lotsen in den Softwareentwicklungsprozess zu machen. Die Evaluierung war als Proof-of-Concept gedacht, um zu zeigen, wie der im Projekt angedachte Workflow in der Praxis ausgeführt werden kann. Die iterative Methodik wurde durch die Erstellung von Entwürfen, dem Sammeln von Nutzer-Feedback im Workshop vor Ort, die Anpassung der Entwürfe und schließlich dem Bündeln von Nutzermeinungen mithilfe der remote durchgeführten Workshops definiert. Viele Ergebnisse aus dem initialen Workshop wurden in der Software unmittelbar umgesetzt und konnten von den Probanden anschließend in der digital durchgeführten Evaluierung ausprobiert und wiederum bewertet werden. All dies erfolgte in einem kurzen Zeitrahmen von wenigen Monaten. Ausgehend von diesem schnellen Fortschritt in Verbindung mit dem positiven Feedback der

Benutzer lässt sich ableiten, dass der entwickelte Arbeitsablauf tatsächlich zur Verbesserung und Beschleunigung des Softwareentwicklungsprozesses in einem Umfeld wie einer Flugsicherung eingesetzt werden kann.

Das gilt insbesondere für den remote durchgeführten Workshop, der von allen Teilnehmern ohne weitere Hilfen erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Remote durchgeführte Workshops könnten daher auch in sicherheitskritischen Umgebungen ein möglicher Weg sein, um eine größere Anzahl von Teilnehmern regelmäßiger in die Evaluierung neuer Funktionalitäten einzubeziehen und trotzdem Kosten und Aufwand gering zu halten.

Es stellte sich jedoch heraus, dass die Vorbereitungszeit für einen remote durchgeführten Workshop nicht zu unterschätzen ist, denn die Ergebnisse der funktionalen Evaluierung der nachträglich implementierten Funktionen waren sehr viel gemischter als vom Hauptworkshop. Dies lässt sich teilweise mit der kürzeren Vorbereitungszeit des Follow-up Workshops erklären. Die Ideen und Entwürfe, auf deren Grundlage die Mockups des Hauptworkshops erstellt worden waren, waren bereits sehr ausgereift und einige von ihnen hatten bereits mehrere interne Bewertungsiterationen durchlaufen. Die Mockups des Follow-Up Workshops hingegen wurden in einem kurzen Zeitrahmen nach den ersten Befragungen auf der Grundlage des nicht immer widerspruchsfreien Feedbacks erstellt. Dabei wurden auch Ideen ausprobiert, die noch nicht so ausgefeilt waren und einen eher experimentellen Charakter hatten. Dazu gehörten unter anderem sehr dominante und damit eher ungewöhnliche Darstellungen von aktuellen Wetterinformationen. Es zeigte sich jedoch, dass Design-Ideen und Funktionen von den Fluglotsen genauso positiv oder kritisch bewertet wurden, wie in den Workshops vor Ort. Remote durchgeführte Workshops scheinen sich damit besonders dafür zu eignen, bestehende Entwürfe zu ergänzen oder zu verfeinern.

Bei der Durchführung von digital durchgeführten Workshops mussten jedoch einige Herausforderungen bewältigt werden. Erstens ist es notwendig, dass jedes Mockup, das im Workshop enthalten ist, ausführlich erklärt wird, da die Teilnehmer sonst Schwierigkeiten haben, sie zu verstehen und sich auf die richtigen Elemente der Mockups zu konzentrieren. Zweitens ist es nicht möglich, sicherzustellen, dass alle Teilnehmer während des Workshops die gleichen Bedingungen vorfinden. Zwei Teilnehmer unseres digitalen Workshops wiesen darauf hin, dass ihre Computermonitore zu klein und die Mockups daher schwerer zu beurteilen waren. Das bedeutet, dass die Ergebnisse eines solchen digital durchgeführten Workshops entweder mit Blick auf diese möglichen Probleme sorgfältiger ausgewertet oder dass andere Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die korrekte Durchführung des Workshops zu gewährleisten.

In anderen Bereichen der Softwareentwicklung werden ähnliche Arbeitsabläufe bereits seit langem erfolgreich eingesetzt. Aus Interviews mit deutschen Fluglotsen, Fachexperten und Softwareentwicklern für die Flugsicherung ging jedoch hervor, dass diese Vorgehensweise der Softwareentwicklung in der Flugsicherung ein Novum darstellt. Daher würde die Einführung dieses Konzeptes mit dem Nachweis, dass sie praktikabel und vorteilhaft sind, zukünftige Softwareentwicklungsprozesse für Flugsicherungssoftware aus unserer Sicht verbessern und die Zufriedenheit der Fluglotsen als Endnutzer der Systeme deutlich erhöhen.

LITERATUR

- [1] Wang, J. J., K. Datta und M. R. Landis (2002). A Life-Cycle Cost Estimating Methodology for NASA-Developed Air Traffic Control Decision Support Tools. NASA/CR-2002-211395. NASA Ames Research Center. Moffett Field, California, USA.
- [2] Majumdar, A. (1995). "Commercializing and restructuring air traffic control: A review of the experience and issues involved." *Journal of Air Transport Management* 2(2): S. 111-122.
- [3] Gordieiev, O., D. Gordieieva, A. Rainer and O. Pishchukhina (2023). Relationship between factors influencing the software development process and software defects. The 13th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2023). Athens, Greece. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416445.
- [4] Morton, S. (2017). Specification for Medium-Term Conflict Detection (MTCD). EUROCONTROL-SPEC-0139. European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). Brussels, Belgium.
- [5] Drozdowski, S. (2017). Guidelines for Short Term Conflict Alert - Part I - Concept and Requirements. EUROCONTROL-GUID-159. European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL). Brussels, Belgium.
- [6] Simons, M. (2012). A Functional Analysis of Integrated Arrival, Departure, and Surface Operations in NEXTGEN. 31st Digital Avionics Systems Conference, Williamsburg, VA, USA.
- [7] Toratani, D. (2019). Application of merging optimization to an arrival manager algorithm considering trajectory-based operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 109.
- [8] Böhme, D. (2005). Tactical Departure Management with the Eurocontrol/DLR DMAN. 6th FAA/Eurocontrol ATM R&D Seminar, Institute of Flight Guidance, Baltimore, USA.
- [9] Cappellazzo, V., V. Treve, C. Chalou and I. D. Visscher (2018). Design Principles for a Separation Support Tool Allowing Optimized Runway Delivery. *Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*: 4237. Atlanta, Georgia, USA.
- [10] Phojanamongkolkij, N., N. Okuniek, G. W. Lohr, M. Schaper, L. Christoffels und K. A. Latorella (2014). Functional Analysis for an Integrated Capability of Arrival/Departure/Surface Management with Tactical Runway Management. NASA/TM-2014-218553.
- [11] Temme, M.-M., O. Gluchshenko, L. Nöhren, M. Kleiner, O. Ohneiser, K. Muth, H. Ehr, N. Groß, A. Temme, M. Lagasio, M. Milelli, V. Mazzarella, et. al. (2023). Innovative Integration of Severe Weather Forecasts into an Extended Arrival Manager. *Aerospace* 10(210). doi.org/10.3390/aerospace10030210.
- [12] Chan, M. und J. Nielsen. (2024) Mental Models. NN/g Nielsen Norman Group. <https://www.nngroup.com/articles/mental-models>.
- [13] Hofmann, T., M. Syndicus und J. Bergner (2019). Air Traffic Control HMI – Herausforderungen der Integration mentaler Modelle spezieller Nutzer in den Designprozess. GfA Frühjahrskongress. Dresden, Germany. B.10.3.
- [14] Seidel, D. (2020). Prädiktion von Anflugsequenzen mit Verfahren des maschinellen Lernens. *Innovation im Fokus* 2(20). DFS. S. 15-24.
- [15] Ortner, P., R. Steinhöfler, E. Leitgeb und H. Flühr (2022). Augmented Air Traffic Control System - Artificial Intelligence as Digital Assistance System to Predict Air Traffic Conflicts. *AI* 3(3): S. 623-644. doi.org/10.3390/ai3030036.
- [16] Hunger, R., L. Christoffels, M. Friedrich, M. Jameel, A. Pick, I. Gerdes, P. M. v. d. Nahmer und F. Sobotzki (2024). Lesson Learned: Design and Perception of Single Controller Operations Support Tools. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science*. D. Harris und W.-C. Li, Springer, Cham. 14693. S. 15-33.
- [17] Gerdes, I., A. Temme und M. Schultz (2018). Dynamic airspace sectorisation for flight-centric operations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 95: S. 460-480. doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.032.
- [18] Uebbing-Rumke, M., H. Gürlük, M. Jauer, K. Hagemann und A. Udovic (2014). Usability Evaluation of Multi-Touch-Displays for TMA Controller Working Positions. 4th SESAR Innovation Days (SID 2014). Madrid, Spain.
- [19] Koch, A. S. (2004). *Agile Software Development: Evaluating the Methods for Your Organization*, Artech House.
- [20] DIN EN ISO 9241-210 (2020): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme. Beuth Verlag. Berlin.
- [21] Moser, C. (2012). *User Experience Design - Mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern*. Berlin, Heidelberg, Deutschland, Springer-Verlag.
- [22] Hofmann, T., D. Heßler, S. Knothe und A. Lampe (2023). New Scientific Methods and Old School Models in Ergonomic System Development. *Ergonomic Insights*. S. Pazell und N. Karanikas. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press: S. 227-242.
- [23] König, C., T. Hofmann, A. Röbig und J. Bergner (2010). *Fluglotsen-Arbeitsplätze der Zukunft. Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten*, 56. Frühjahrskongress der GfA. Darmstadt, Germany.
- [24] Kurz, M. und F. Zebner (2011). Zum Verhältnis von Design und Technik. *Design, Anfang des 21. Jh. - Diskurse und Perspektiven*. P. Eisele und B. E. Bürdek. Ludwigsburg, Germany, Avedition: S. 176-185.
- [25] Knothe, S., T. Hofmann und C. Blessmann (2021). Theory and Practice in UX Design - Identification of discrepancies in the development of user-oriented HMI. 23rd HCI International Conference (HCII). C. Stephanidis, M. Antona und S. Ntoa (Eds.). Copenhagen, Denmark, Springer. Part I: S. 37-43. doi.org/10.1007/978-3-030-90176-9.
- [26] Norman, D. A. (2010). *Living with Complexity*. Cambridge, Massachusetts, USA, MIT Press.
- [27] Schrepp, M., A. Hinderks und J. Thomaschewski (2014). Applying the user experience questionnaire (UEQ) in different evaluation scenarios. *Design, User Experience, and Usability. Theories, Methods, and Tools for Designing the User Experience: Third International Conference, DUXU 2014, Held as Part of HCI International Heraklion, Crete, Greece*, Springer International Publishing. Part I 3: S. 383-392.