

FENSTERLOSES COCKPITKONZEPT FÜR BEMANNTE UND UNBEMANNTE LUFTFAHRZEUGE

C. Berth, S. Sydow, G. Hüttig
Technische Universität Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt,
Marchstrasse 12, 10587 Berlin, Deutschland

Zusammenfassung

Das Konzept eines fensterlosen Cockpits ist in der Vergangenheit bereits öfters definiert und dessen Nutzung für verschiedene Luft- und Raumfahrtsysteme in Betracht gezogen worden. Unter anderem haben Bedenken bzgl. der psychologischen Auswirkungen auf die betroffene Besatzung dessen Einsatz bisher verhindert. Hierbei stand im Wesentlichen die Beeinträchtigung der natürlichen Sicht im Vordergrund der Qualifizierung eines fensterlosen Konzeptes.

Ungeachtet dessen steigt die Zahl an modernen Luftfahrzeugkonzepten bei denen der Einsatz eines fensterlosen Cockpits erhebliche Vorteile mit sich bringt. Angefangen bei neuartigen Raumfahrtsystemen und Überschallverkehrsflugzeugen (vgl. [2]) bis hin zu *Blended Wing Body* (BWB) Großraumpassagier- und Frachtmaschinen (vgl. Abb. 6) sowie *Unmanned Air Vehicle* (UAV) Systemen birgt die Integration eines fensterlosen Cockpitkonzeptes eine Vielzahl an Vorteilen. Strukturelle Verbesserungen wie Gewichtsreduktion, strömungs- und widerstandsarme Rumpfgestaltung, eine optimale Raumnutzung und sichere Evakuierungslösungen zeigen nur eine Seite der Möglichkeiten. Mit Abstand sind jedoch die sicherheitsrelevanten Aspekte für den Betrieb eines fensterlos operierenden Systems hervorzuheben. Durch die Verwendung moderner Sensoren kann mit einer fensterlosen Cockpitlösung auch bei schlechten Sichtbedingungen ein allwetterfähiger (24/7) Betrieb realisiert werden. Das betrifft bemannte sowie unbemannte Systeme gleichermaßen solange der Mensch als übergeordneter Bediener im Mittelpunkt der Betrachtungen steht.

Das hier vorgestellte Konzept bietet darüber hinaus eine Möglichkeit Mensch-Maschine induzierte Unfälle, die heute einen erheblichen Anteil der Unfallstatistik ausmachen, zu minimieren und gleichzeitig das Informationsniveau durch Informationskompression und Mensch orientierter Darstellung zu erhöhen [1]. Bei unbemannten Systemen ergibt sich das "fensterlose" Fliegen schon aus den Randbedingungen. Hier jedoch bietet der identische Bedieneransatz die Möglichkeit Unfälle zu vermeiden bzw. komplexe Aufgaben durchzuführen in dem der UAV-Bediener in der Bodenkontrollstation als dem Piloten eines Luftfahrzeuges gleichwertig behandelt wird. UAV Konzepte, bei denen der Mensch identische Funktionen ausübt wie ein regulärer Pilot im Cockpit eines bemannten Luftfahrzeuges, müssen entsprechende Bedienerfunktionalitäten bieten wenn ein identisch hohes Sicherheitsniveau garantiert werden soll.

1. EINLEITUNG

Der hier vorgestellte Ansatz für einen allgemeingültigen Cockpitentwurf für bemannte und unbemannte Systeme gleichermaßen, leitet sich aus einer vorangegangenen Arbeit ab. Hier galt es für bemannte, bestehende und zukünftige Lufttransportsysteme ein Cockpitansatz zu entwickeln um die derzeit stagnierende Flugunfallrate zu minimieren und die wirtschaftliche Leistung des Transportsystems Flugzeug über bestehende Sicht minimierende Grenzen hinaus zu steigern [3][4][5]. Da ebenfalls der Bereich unbemannter Luftsysteme von stetem Wachstum betroffen ist und auch hier Unfälle auf Grund von Mensch-Maschine-Inkompatibilitäten zum Vorschein treten, liegt es nahe, das Konzept auf die unbemannte Luftfahrt zu erweitern. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf einer möglichst einheitlichen Plattform im Sinne der Aufgabenerfüllung bei einem von Piloten bedientem System. Hierzu gilt es allgemeingültige Vorgaben aufzustellen die für beide Systeme Gültigkeit haben und nur in ihren Randbedingungen skalierbar sind.

Um die Motivation bezüglich der Entwicklung eines fensterlosen Cockpitkonzeptes näher zu bringen soll kurz auf die derzeitige Flugunfallproblematik und den Stand der Technik von bemannten und unbemannten Cockpitsystemen eingegangen werden.

1.1. Flugunfalluntersuchung

Dank moderner Technik und einem wachsenden Automationsgrad konnte die Flugunfallrate (Anzahl fataler Unfälle je 1 Millionen Flüge) bis zum vorangegangenen Jahrzehnt stetig gesenkt werden. Seither tritt trotz weiterer Verbesserung von Assistenzsystemen sowie der Erhöhung des Automationsgrades keine nennenswerte Verbesserung mehr ein. Da trotz gleich bleibender Rate der Flugverkehr weiter ansteigt kommt es effektiv häufiger zu fatalen Unfällen. Laut Statistik ist die Zahl der Technik bedingten Unfälle hierbei auf ein Minimum zurückgegangen. Die Masse der verbliebenen Unfälle haben einen Mensch-Maschine-Versagen Hintergrund. Demzufolge scheint eine weiterführende

Systemautomation keinen Gewinn bringenden Einfluss auf die Flugunfallrate zu haben. Dieser Punkt gilt damit als ein wichtiges Argument dafür die Benutzerschnittstelle Cockpit den heutigen Gegebenheiten, dem technologischen Fortschritt im Allgemeinen und nicht zuletzt den menschlichen Informationsaufnahme-mechanismen anzupassen. [1][5]

1.2. Moderne Cockpitsysteme

Unter modernen Cockpitsystemen dieser Zeit werden vor allem militärische Entwicklungen wie das der F-22, F-35, T-50 oder J-20 verstanden. Im zivilen Bereich sind das primär die neuste Generation bzw. kurz vor der Serienfertigung stehende Luftfahrzeugtypen wie der Airbus A350, die Boeing 787, der Suchoi SSJ100 etc. sowie weitere Maschinen aus dem Business- und General-Aviation Bereich. Die Masse dieser erst genannten Luftfahrzeuge besitze ein *Fly by Wire* (FBW) Flugsteuerungssystem mit Assistenzsystemen, ein modernes *Flight Management System* (FMS), Autopilotenfunktionalitäten bis hin zu CATIIIc Anflügen sowie moderne Display-Informationssysteme. Vordergründig findet man in den meisten Fällen ein aufgeräumtes und ergonomisch unterteiltes Cockpit. Bei der Informationsvielfalt auf den Displays unterscheiden sich die angewandten Philosophien von Hersteller zu Hersteller. Während einige versuchen die Informationen auf das nötigste zu begrenzen, bieten Andere die gesamte Bandbreite von aufgabenspezifisch nicht zusammengehörenden Informationen auf einem Display. Der letztlich größte Nachteil heutiger Cockpits ist jedoch das Fehlen eines funktionierenden Sichtsystems das auch bei schlechten Sichtbedingungen die intuitive und damit schnellere Informationsaufnahme via visuellen Kanal gestattet, denn hier ereignen sich die meisten Mensch-Maschine induzierten Unfälle. Head-Up Display (HUD) Systeme wie sie in militärischen Maschinen und teilweise auch in zivilen Luftfahrzeugen eingesetzt werden stellen einen Schritt in die richtige Richtung dar, können jedoch auf Grund ihrer Beschränkungen nicht die gleichen Informationsaufnahmemechanismen stützen wie es unter Tagsichtbedingungen möglich ist.

1.3. UAV Bedienstationen

Viele UAV werden letztlich via Fernsteuerung von einem Bediener vom Boden aus gesteuert. Je nach System greift die Steuergewalt direkt oder indirekt in den Regelkreis ein. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Möchte man beispielsweise ein UAV in bewohnten Gebieten oder parallel zu bemannten Luftfahrzeugen in kontrolliertem Luftraum betreiben muss man sicherstellen, dass es zu keinen unbeabsichtigten Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommt bzw. unbeteiligte Dritte am Boden beeinflusst werden. Ein Sensorpaket das in der Lage ist alle hierfür notwendigen Informationen zu generieren um ein UAV Vollautomatisch einzusetzen, bedingt eine entsprechend hohe Nutzlastkapazität die bei kleinen und mittleren Systemen schwer zu realisieren ist. Damit der Mensch diese Funktion ähnlich wie in einem bemannten Luftfahrzeug übernehmen kann, bedarf es jedoch eines entsprechenden breitbandigen und störstärkeren Informationskanals um Video- und Flugsystemdaten zu übertragen. Die Abwägung zwischen autonomen und fernbedientem Fliegen richtet sich dabei

nach den technologischen und gesetzlichen Randbedingungen. Bezüglich des letzten Falles agiert der Bediener wie ein Pilot, nur das sich das Cockpit am Boden befindet.

Betrachtet man die gängigen UAV Bodenbedienstationen, stellt man fest, dass diese nicht die Anforderungen an ein Flugzeugcockpit erfüllen. Entwickelte Mensch-Maschine-Standards werden nicht oder nur im Ansatz implementiert. Damit rangiert die UAV Bedienstation in Sachen Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit weit unter dem Standard von normalen Luftfahrzeugen.

Bei vollständig autonom agierenden UAV Systemen stellt das kein Problem dar. Bringt man das Bedienungs-niveau von UAV Systemen auf den gleichen Stand wie den moderner Airliner so treffen dieselben für diese geltenden Einschränkungen auch auf die UAV-Bedienstation zu. Insofern bietet es sich an eine Konzeptbasis für beide Systeme aufzustellen.

1.4. Struktur der Arbeit

Auf den folgenden Seiten wird zunächst das Cockpitkonzept beschrieben. Dieses gliedert sich in drei Hauptmodule (*Cockpitmodul, Datenübertragungsstrecke, Sensorik*) (vgl. Abb. 1). Im Schwerpunkt dieses Papiers steht das Primärmodul Cockpit (Mensch-Maschine-Schnittstelle). Wichtige Ansätze bzgl. der technischen Realisierung auch der verbleibenden zwei Module werden im Kapitel Technologiebasis erörtert. Hier findet auch die Diskussion hinsichtlich der Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der technischen Umsetzung zwischen UAV und bemanntem Luftfahrzeug statt.



BILD 1. Bestandteile des Cockpitkonzeptes

2. DAS COCKPITKONZEPT

Wie bereits angesprochen handelt es sich bei diesem Konzept um einen Cockpitansatz, in dem auf Fenster im herkömmlichen Sinne verzichtet werden soll. Grund hierfür sind neben strukturellen, vor allem die visuellen und informationstechnischen Beschränkungen denen ein klassischer Cockpitentwurf unterliegt. Eine der Hauptforderungen an dieses Konzept ist die Unterstützung intuitiver visueller Informationsaufnahme. Dafür und im Austausch für die fehlenden Fenster wird ein Wetter und Tageszeit unabhängiges Sichtsystem benötigt. Als weiterführende Forderung wird ein peripherer Sichtbereich sowie Tiefenwirkung in der Sichtdarstellung gefordert. Letztere sind Grundvoraussetzungen um eine ergonomische optimale Schnittstelle zu ermöglichen, die Einschränkungen bei der Informationsaufnahme unter Schlechtsichtbedingungen heutiger Cockpitsysteme eliminiert.

Als Lösung für diese Forderung hat sich die Verwendung einer Kollimationsoptik unter Zuhilfenahme von bildgebenden Sensoren, im Frequenzspektrum von

sichtbarer und infraroter Strahlung, als vorteilhaft erwiesen (vgl. Abb. 2). Damit bietet ein solches Sichtsystem, neben der Erfüllung genannter Forderungen, die Möglichkeit der Nutzung eines nicht verbauten Sichtbereiches und der zusätzlichen Implementierung von flugrelevanten Informationen. Letztere lassen sich zudem Geographisch referenziert darstellen, was der Erstellung eines mentalen Gesamtbildes in Abhängigkeit der jeweiligen Situation zugutekommt.

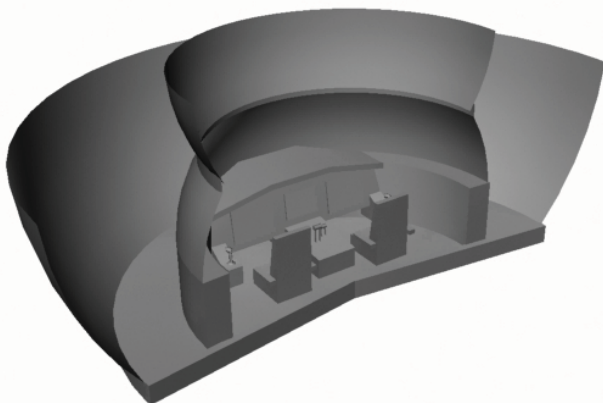


BILD 2. Konzeptdarstellung Cockpit mit Kollimationssicht 180°

Das Cockpitmodul wird der Verständlichkeit halber noch einmal untergliedert. Das den Head-Up Bereich dominierende Sichtsystem dient der direkten Steuerung und Bedienung des Luftfahrzeuges. Der Head-Down Bereich untergliedert sich wiederum in den Navigations- und den Systembereich. Damit ist eine Dreiteilung des Cockpits geschaffen, die Desorientierung in Situationen großer oder wechselnder Arbeitslast vermeidet (vgl. Abb. 3). Am wichtigsten ist jedoch die Unterscheidung in den Head-Up und den Head-Down Bereich, hierdurch erfolgt eine blickrichtungsorientierte Aufgabenteilung im Zwei-Piloten Cockpit.

2.1. Integriertes Sicht- und Informationssystem (Head-Up)

Das Hauptziel in der Verwendung eines sensorgestützten Kollimationssichtsystems liegt bei der Gewährleistung von gewohnten aber Wetter und Tageszeit unabhängigen Sichtverhältnissen. Mit einem solchen System wird die mentale Verarbeitung erleichtert, um auch in Notsituationen genügend Kapazität vorzuhalten. Darüber hinaus wird die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Luftfahrtsystems erhöht, da es unter nahezu allen Sichtbedingungen operieren (Starten und Landen) kann. Je nach Platzverhältnissen kann ein Sichtsystem mit bis zu 360° Rundumsicht realisiert werden. Um ein gewohntes peripheres Sichtfeld zu schaffen sollten jedoch mindestens 150° Systeme verwendet werden. Bei Ein-Piloten Cockpits für z.B. UAS reduziert sich der benötigte Radius verglichen mit einem Zwei-Piloten Cockpit erheblich.

Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Cockpit können unterstützende Systeme wie ein HUD direkt in das Sichtsystem integriert werden. Das minimiert Kosten und Systemkomplexität. Darüber hinaus existieren keine Beschränkungen wie Blickwinkelabhängigkeit durch Kopfbewegungen und kleine Darstellungsbereiche. Die

Integration von primären Fluginformationen in das Sichtsystem entlastet den Piloten vor allem während des manuellen Fluges. Wichtig dabei ist, dass die Informationen auf die Steuerungsmöglichkeiten abgestimmt sind. Der Pilot, als Teil des Regelkreises, sollte in dieser Funktion möglichst wenig, aber vor allem gleichmäßig belastet werden. Dies schafft mentale Kapazitätsreserven, die in anormalen Situationen dringend benötigt werden.

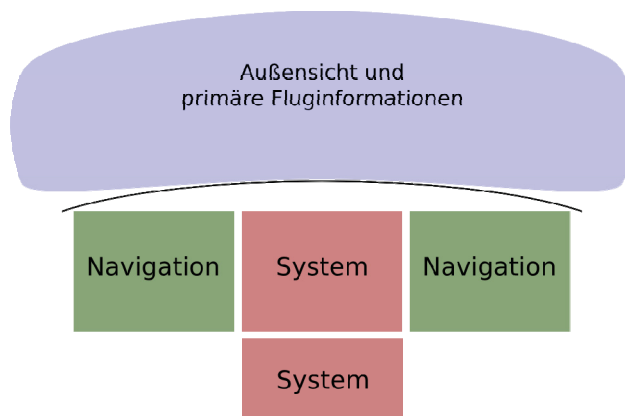


BILD 3. Cockpitstruktur nach Aufgabenbereichen

Bei einer Versuchsreihe in einem *Full Flight Simulator* (FFS) vom Typ Airbus A330 (vgl. Abb. 4) konnte in einem Vergleichsflug die Leistungsfähigkeit dieses Konzeptes im Ansatz untersucht werden. Hier wurde das in Flugsimulatoren verwendete Kollimationssichtsystem für das hier skizzierte Konzept angepasst. Untersucht wurden die Arbeitslast, das Situationsbewusstsein, das Steuereingabeverhalten sowie das subjektive Empfinden im Unterschied zu einem herkömmlichen Cockpit. Der Versuch sah die vollständig manuelle Steuerung unter Schlechtwetterbedingungen vor. Geflogen wurde von München nach Innsbruck bei einer maximalen Flughöhe von FL85 bis FAF mit einem abschließenden Non Precision Approach bei Wind von 10kn "left XWind". Im Cruise Segment kam es zu GPWS¹ und TCAS² Alerts.



BILD 4. Sicht aus dem Cockpit (Infrarot)

¹ GPWS Ground Proximity Warning System

² TCAS Traffic Collision Avoidance System

Während die Piloten im klassischen Cockpit ein Situationsbild nur anhand der zweidimensionalen Displayinformationen generieren konnten, was im Folgenden als "*Situation Nicht-konforme Mentale Informationsgenerierung (SNMI)*" benannt wird konnten die Piloten im Konzeptcockpit gewohnte Informationsaufnahme-mechanismen anwenden.

Unterstützend wurden, auf der Infrarot-Sensor-Daten basierenden Falschfarbendarstellung der Außensicht (Virtuell) die primären Fluglageinformationen sowie der Flugbahnvektor, eine Flugpfadanzeige und TCAS Symboliken situationskonform zur Anzeige gebracht. Dies sind alles Informationen die bereits in modernen FMS vorliegen aber bisher nicht mit Referenz zur Außensicht dargestellt werden.

In dem bereits angesprochenen Versuch konnte u.a. gezeigt werden, dass die in das Sichtfeld projizierten Informationen einen großen Anteil an der Reduzierung der Arbeitslast tragen. Beispielsweise beansprucht die Abschätzung des Flugbahnvektors im herkömmlichen Cockpit mehr mentale Kapazität (vgl. SNMI) als die Bereitstellung eines sichtkonformen Flugbahnvektorsymbols, das unter anderem Windeinflüsse oder das schiebende Verhalten bei einem unsymmetrischen Triebwerksausfall direkt darstellt. Bei gleichzeitiger Darstellung des aktiven Flugweges in Form eines Tunnel vermindert sich die aufgebrachte Arbeitslast für die Erfüllung der Flugaufgabe noch ein weiteres Mal. In Abb. 5 ist hierfür die Frequenzverteilung und Amplitude der Rolleingaben am Beispiel eines Vergleichsfluges dargestellt. Im Endanflug (A330 30-40min, ECO 80-90min) konnte eine deutlich verringerte Roll- und Nicksteueraktivität am Eingabegerät (Sidestick) des Konzeptcockpits gegenüber dem herkömmlichen Cockpit verzeichnet werden. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen dass die Informationsaufnahme trotz eingeschränkter Realsicht auf natürliche Weise erfolgen kann. Die Gesamtlage muss hier nicht mental über die Zuhilfenahme von Instrumenten gebildet werden. [5]

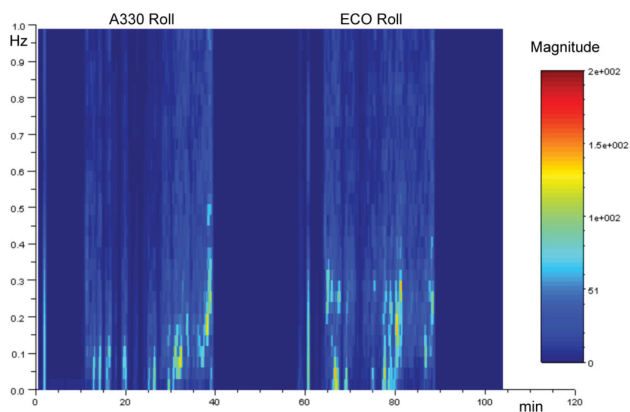


BILD 5. Frequenzspektrum der Rolleingaben im Vergleich A330 und Konzept (ECO) [5]

Ein weiterer Parameter, der für den Piloten aufbereitet werden sollte, ist die Gesamtenergie des Flugzeuges. Mit Hilfe einer entsprechenden Anzeige im ADI können sofort Kreuz kompatible Aussagen bezüglich der benötigten bzw. anliegenden Geschwindigkeit, der Triebwerks-leistung sowie des Flugbahnwinkels vorgenommen werden.

Auf Grund der allgemein geringen Kapazität bzgl. Informationsaufnahme sollte möglichst Systemübergreifend eine Komprimierung von Informationen stattfinden und darunterliegende Informationen nur bei Bedarf bzw. im Ausnahmefall zur Anzeige gelangen. Beispielsweise könnte heute schon auf die Localizer und Glideslope Anzeige für *Instrument Landing System (ILS)* Anflüge verzichtet werden. Ein intuitiver *Flight Direktor (FD)* der auf genau diesen Informationen beruht und heute primär bei manuellen Anflügen genutzt wird garantiert im Vergleich eine höhere Präzision.

Als letzten Punkt muss auf die psychologische Wirkung eines begrenzten fensterlosen Raumes eingegangen werden. Das Unbehagen seitens der Piloten in einem fensterlosen Raum zu sitzen ist nachvollziehbar groß und wird durch subjektive Befragungen unterstrichen. Dieser Aspekt muss dementsprechend sorgfältig betrachtet werden. Im Rahmen dieses Konzeptes soll die Tagessichtdarstellung die höchste Ausfallsicherheit bekommen um diesem Phänomen entgegenzuwirken. Darüber hinaus bietet sich an eine sogenannte "*Ambient Light*" Installation im Kollimationsspiegel vorzusehen. Diese aus einer LED Phalanx aufgebaute Lichtinstallation erzeugt bei Ausfall des Sichtsystems mit Hilfe des Spiegel ein weites Raumgefühl, so dass die Begrenztheit des Raumes nicht wahrgenommen werden kann. Somit wird das räumliche Empfinden angenehmer gestaltet. [5]

2.2. Navigations- und Systeminformationen (Head-Down)

Navigations- und Systeminformationen werden in diesem Konzept wie üblich auf den Displays vor den Piloten (Head-Down) angezeigt. Nur steht in diesem Fall dafür mehr Platz zur Verfügung, da die primären Fluginformationen Head-Up angezeigt werden.

Für das Navigationsdisplay ist der gesamte Bereich vor dem Piloten vorgesehen. Die vertikale und laterale Navigation soll dabei in eine Anzeige integriert werden, um den Flugplan und eventuelle Hindernisse konform zur Außensicht darzustellen. Mittels einer autostereoskopischen Anzeige ist es möglich den Flugplan dreidimensional zu visualisieren ohne, dass die Darstellung mehrdeutig ist. Die genaue Anzeige von TCAS Ereignissen in diesem System ist einfacher zu verstehen, da vertikale Ausweichmanöver deutlich dargestellt und vom Piloten antizipiert werden können. Dabei wird vermieden, dass die vertikale und horizontale Anzeige durch den Piloten interpretiert und zu einer dreidimensionalen Lageinformation zusammengeführt werden muss (vgl. SNMI).

In der Mitte des Cockpits auf einer Höhe mit den Navigationsdisplays befindet sich das System Display (SD). Dieses dient der Überwachung und Steuerung aller Flugzeugsysteme und stellt die Vereinigung von Systemanzeigen, Triebwerks- und Warnanzeigen sowie dem Overhead-Panel im herkömmlichen Sinne dar.

Ziel dieses Ansatzes ist es die Anzeige- und Steuerelemente nach Funktion zu gruppieren. Die Darstellung soll zweidimensional und schematisch erfolgen. Hintergrund hierfür ist die Informationsaufnahmekapazität. Einfache und

aussagekräftige zweidimensionale Darstellungen lassen sich schneller Erfassen und Verarbeiten. Graphisch aufgewertete dreidimensionale Darstellungen sehen optisch interessant aus bergen aber die Gefahr auf Grund großen Detailreichtums die Aufmerksamkeit zu binden.

Die Bedienung erfolgt im Normalfall über den Touchscreen des Displays. Alternativ kann ein Trackball oder die Tastatur genutzt werden, vor allem in Situationen mit starken Turbulenzen.

Ausgenommen davon sind selten genutzte Steuerelemente für Fehlerfälle, wie Sicherungen und die Feuerlöschfunktion der Triebwerke. Diese sind weiterhin im Overheadpanel angeordnet.

Die beschriebene Anordnung der Anzeigen ist nicht starr festgelegt, aber als Normalfall anzusehen. Falls einzelne Anzeigen oder Eingabegeräte ausfallen oder besondere Situationen es erfordern kann die Anordnung beliebig umgeschaltet werden. Dies schließt die Anzeige im Head-Up Bereich mit ein.

3. TECHNOLOGIEBASIS

Im Folgenden soll für bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge die Technologiebasis des zuvor beschriebenen Konzeptes erörtert werden. Auf Grund unterschiedlicher Installationsarten ergeben sich Randbedingungen die einen direkten Einfluss auf die Realisierbarkeit sowie die Zuverlässigkeit des Konzeptes haben. Zu diesen Bedingungen gehören unter anderem das Gewicht der Cockpitinstallation, die äußeren Abmessungen, die Anbindung an die zu Grunde liegende Sensorik, die zur Verfügung stehende Bandbreite sowie die Latenz in der Signalübertragung und -verarbeitung. Zunächst werden diese Faktoren kurz beschrieben und deren Auswirkung auf die jeweilige Implementierungsart dargestellt.

3.1. Gewicht der Cockpitinstallation

Der Einfluss des Gewichtes hängt weitestgehend von der Art der Konfiguration ab. Während das Gesamtgewicht der Cockpitinstallation bei unbemannten Systemen nur für mobile Implementierungen von Interesse ist, so stellt es bei bemannten Luftfahrzeugen einen erheblichen Einflussfaktor dar. Ein höheres Gewicht ist gleichzusetzen mit einer verringerten wirtschaftlichen Leistung. Aus diesem Grund sollte die Implementierung des Kollimationssichtsystems sowie der benötigten Sensorik die strukturellen Einsparungen beim Weglassen der Fensterkonstruktion nicht oder nur geringfügig überschreiten. Dementsprechend gilt es der Konstruktion für das Kollimationssichtsystem sowie der strukturellen Integration der Sensoren besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Eine Möglichkeit besteht unter anderem in der Nutzung moderner Kohlefaserverbundstoffe bei der Herstellung des Kollimationsspiegels.

3.2. Größe der Cockpitinstallation

Ebenso wie das Gewicht spielt auch die Gesamtgröße des Konzeptes beim bemannten System eine wichtigere Rolle als bei ihrem unbemannten Pendant. Während sich die Implementierung in Konzepten wie BWB Designs als

unkritisch erweist stellt die Integration in mögliche Überschallverkehrsflugzeuge oder Kurzstreckenmaschinen eine größere Herausforderung dar. Der Platzbedarf für ein Kollimationssystem mit einem großen peripheren Sichtbereich überschreitet in den meisten Fällen den Rumpfdurchmesser klassischer Single Aisle Designs.

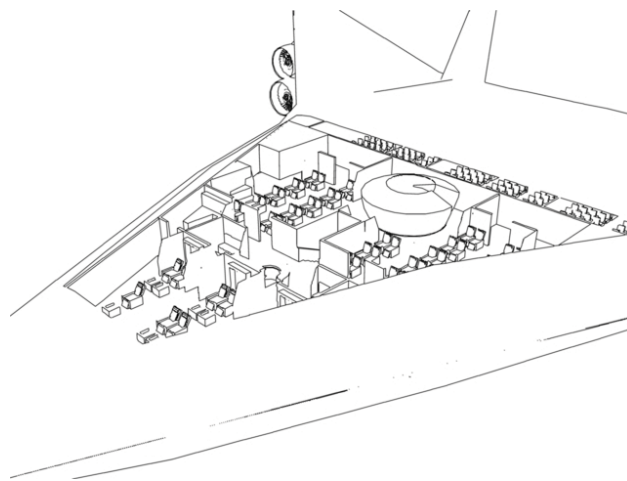


BILD 6. Blended Wing Beispiel

Hier muss entweder eine Verringerung des peripheren Sichtbereichs in Kauf genommen werden oder eine hintereinander liegende Anordnung der Piloten vorgenommen werden.

3.3. Sensorik

Die Auswahl der richtigen Sensoren stellt an bemannte und unbemannte Systeme gleich hohe Anforderungen. In beiden Fällen muss, um den Konzeptvorgaben Rechnung zu tragen, ein Sensormix für den 24h Betrieb realisiert werden. Hier bieten sich moderne Tagsicht- und Infrarotkamerasysteme sowie Radarsysteme im X, K_{α} , und W Band an. Radarsysteme sollten auf Grund von Frequenzband bedingter niedriger Bildauflösung nur als unterstützende Systeme bei extremen Wetterbedingungen zum Einsatz kommen. Hier bietet sich das direkte Zusammenspiel mit synthetischer Geländedarstellung an.

Die Fähigkeit auch unter wechselnden Schlechtwetterbedingungen operieren zu können resultiert aus den gegebenen Einsatzspektren moderner Luftfahrtsysteme aller Bereiche. Durch eine zusätzliche Verwendung automatischer Hilfssysteme kann jedoch die Fähigkeitsbandbreite der Sensoren minimiert werden (Redundanz). Bereits heute verfügbar sind leichte und hochredundante Kameraarrays für den Tag- und Nachtbetrieb. Digitale Kamerasysteme sind bereits multispektralfähig was den Bereich der sichtbaren Strahlung sowie der Infrarotstrahlung niedriger Wellenlänge angeht. Darüber hinaus kommen Systeme für größere Wellenlängen zum Einsatz um eine möglichst große Bandbreite an Bedingungen schlechter Sicht zu erfassen. Hier steigen der Komplexitätsgrad sowie die Baugröße der Systeme was im Redundanzaufbau des Gesamtsystems berücksichtigt werden muss.

Eine hohe Sensorredundanz ist vor allem für die

bemannten Luftfahrzeuge von hohem Stellenwert. Hier muss das Sichtsystem inklusive der Tagsichtsensoren (Kamerasysteme) eine Redundanz von 10^9 aufweisen um einem klassischen Cockpit mit Fenstern gleichwertig eingestuft werden zu können. Erforderlich hierfür ist die identische Zusammensetzung bezüglich automatischer Hilfssysteme wie z.B. einem Autopilot in Verbindung mit einem Flight Management System. Die Einbindung von Nachtsicht fähigen Sensoren und zusätzlicher Informationsüberblendung wie im Konzept gefordert erhöht hier die Gesamtredundanz noch einmal erheblich und ermöglicht gleichzeitig eine Mensch-gerechte Bedienung unter nahezu Tageslicht äquivalenten Bedingungen.

3.4. Sensoranbindung und Datenübertragung

Bei einer direkten Steuerung von Luftfahrzeugen mit Hilfe eines sensorgestützten Sichtsystems verbieten sich Latenzzeiten in der Signalübertragung die den Regelkreis destabilisieren. Insofern muss ein robustes Datenübertragungs- und Regelsystem garantiert werden. Hier wiederum gibt es erhebliche Unterschiede zwischen dem bemannten und dem unbemannten Cockpitsystem. Auf Grund der längeren Übertragungswege sowie der begrenzenden Faktoren bezüglich Sensorik, Übertragungsbandbreite und Störsicherheit muss dem unbemannten System bei der Auslegung des angesprochenen Regelkreises eine hohe Aufmerksamkeit gegeben werden. Hier befindet sich das bemannte System im Vorteil da die kurzen Übertragungswege sowie der großzügige Installationsraum Störsicherheit und geringe Latenzzeiten unterstützen. Ebenso fällt die Anzahl verschiedener Sensoren weniger ins Gewicht als bei unbemannten Systemen. Je nach Größe ist die Nutzlast hier stark eingeschränkt.

Generell ist für ein flüssiges Bewegungsempfinden eine Bildwiederholfrequenz (Bildrate) von über 25Hz für das Sichtsystem ausreichend. Für erdnahe operierende Systeme bzw. bei Start- und Landevorgängen können 25Hz zu wenig sein. Dies äußert sich bei schnellen Bewegungen in unscharfen und verzerrten Bildern. Hier sollten mind. 60Hz erzielt werden. Dementsprechend fähig muss die Sensorleistung und Bildübertragung sein. [6][7]

Neben der Bildwiederholfrequenz spielt auch die Auflösung der Bilder eine wichtige Rolle. Je höher die Auflösung (Detailreichtum) der übertragenen Bilder desto besser ist die Tiefenwahrnehmung auch bei nicht stereoskopischen Bildern. Hier spielen unter anderem die retinale Abdeckung, die Perspektive, Verdeckung und Interposition, Relativbewegung und Bewegungsparalaxen sowie der Texturgradient des betrachteten Objektes eine bedeutende Rolle. Die genannten Tiefeninformationen sind verständlicher Weise von proportionaler Qualität bezüglich der Auflösung. Von allgemeinem Vorteil ist hier jedoch immer ein Bild mit großer peripherer Abdeckung. [7]

Während bei Kameras die für den Bereich der sichtbaren Strahlung sowie den nahen Infrarotbereich optimiert sind eine hohe Auflösung kein Problem darstellt erhöht sich der technische Aufwand in Richtung größerer Wellenlängen beachtlich. Zuletzt ist auch der zusätzliche Bedarf an Übertragungsbandbreite bei steigender Auflösung, vor allen bei unbemannten Systemen, nicht zu

vernachlässigen.

Mittels moderner Videocodierungsverfahren, ist es möglich den Videostream zu komprimieren. Die Kompressionsrate ist jedoch nicht konstant, sondern hängt von der Dynamik und dem Detailreichtum des Videosignals ab. Es ist jedoch möglich die Bildrate konstant zu halten, wenn Abweichungen in den Bilddetails in Kauf genommen werden. Dies mag auf den ersten Blick unakzeptabel klingen, ist jedoch gerade für periphere Anzeigen eine angemessene Option, die sich günstig an das menschliche Sichtfeld anpassen lässt.

Dazu wird das Sichtfeld in ein primär frontales und ein sekundär peripheres Bild aufgeteilt. Das frontale Bild wird immer verlustfrei übertragen, die verbleibende Bandbreite steht zur Übertragung des peripheren Bildes zur Verfügung. Für dieses Verfahren spricht zum einen die Struktur des menschlichen Sichtfeldes, da nur der primäre Teil des Bildes hoch-aufgelöst wahrgenommen wird. Der periphere Teil dient vor allem der Geschwindigkeits- und Lagewahrnehmung, die von hoch auflösenden Bilddetails kaum profitiert. Zum andern ist dieses Verfahren auch bezüglich der Relativbewegung des Bildes sinnvoll. Im frontalen Bereich ist die Bilddynamik auch bei hohen Geschwindigkeiten vergleichsweise gering, dadurch beansprucht es geringe Bandbreite. Das periphere Bild weist gerade in der Start und Landephase eine recht hohe Dynamik auf, die der Kompression zuwider läuft. Dies kann jedoch durch Glätten des Bildes, also dem Verlust von Bilddetails kompensiert werden, ohne die Qualität der Darstellung für die Flugführung zu senken.

3.5. Fehlertoleranz

Ein wichtiger Aspekt beim Verzicht auf eine Verglasung des Cockpits zielt auf die Fehlertoleranz der, am eingesetzten Sichtsystem, beteiligten Instanzen. Für das Konzept wird wie bereits angesprochen die höchste Fehlertoleranz für das Sichtsystem im Tagsichtmodus gefordert. Der Grund dafür ist das ein Luftfahrzeug mit einem fensterlosen Sichtsystem unter keinen Umständen schlechter in den Möglichkeiten zur Beendigung eines Fluges stehen darf als ein Luftfahrzeug mit einem herkömmlichen Cockpit. Dementsprechend muss das Sensorsystem, die Datenübertragung und -verarbeitung sowie das Darstellungssystem ausgelegt werden. Für die Sensoren bietet sich eine Phalanx aus mehreren Kamerasystemen an, die fassettenartig angeordnet sind. Die Sensoren für Tageslicht und den nahen Infrarotbereich bilden sich gegenseitig überlagernde Verbunde. Diese wiederum können gekapselt hinter eigenen Scheiben angeordnet werden und den gesamten benötigten Azimut überdecken. Die Versorgung wird über den Anschluss mehrerer Strombussysteme geregelt. Zusätzliche Systeme wie Infrarotkameras und Radarsysteme können dann mit abgestufter Redundanz implementiert werden.

Für die Übertragung der Sensorsignale trifft die gleiche Anforderung zu. Diese müssen räumlich getrennt auf mehreren Wegen den verarbeitenden Systemen zugeführt werden um im Falle der Fehlfunktion eines Stranges weiterhin zur Verfügung zu stehen.

In letzter Instanz muss das Sichtsystem in der Lage sein die Sichtinformationen unter allen Bedingungen

darzustellen. Hierbei ist zu beachten, dass das Sichtsystem auch bei reinem Batteriebetrieb wenigstens eingeschränkt funktionstüchtig bleiben muss. Der dafür benötigte Projektionsschirm besteht aus einer Vielzahl von "Flexible Display Arrays", also kleinen Active Matrix LED Monitoren, die von verschiedenen Strombussen gespeist und von mindestens zwei Datenquellen mit Informationen versorgt werden. [4][5]

Der Kollimationspiegel, über den letztlich die Informationen im Head-Up Bereich den Piloten zur Verfügung gestellt werden, besteht aus einem druckstabilen Verbund. Damit ist dieser weniger anfällig als Folienspiegel und gleichzeitig erzielt man ein druckresistentes Cockpit. [5]

4. AUSBLICK

Das beschriebene Konzept konnte, nach Fertigstellung, wegen des Verkaufs des angesprochenen Airbus A330 FFS nicht abschließend untersucht werden da ein geeignetes Kollimationssichtsystem nicht mehr verfügbar war. Aus diesem Grunde musste eine Umstrukturierung der Forschungseinrichtungen am Institut erfolgen.

Um u.a. das beschriebene Konzept in seiner Gesamtfunktion zu testen wird daher am Institut für Luft- und Raumfahrt der TU-Berlin ein modulares Kollimationssichtsystem für Cockpitsysteme entwickelt und gebaut. Darüber hinaus entsteht ein neuer Forschungssimulator als Cockpitbasis. Durch die Implementierung eines Senkrechtstart fähigen UAV mit einem Kamerasystem kann neben der bemannten Konzeptversion auch die unbemannte Version im Detail untersucht und bewertet werden.

Literatur

- [1] Boeing (2011): *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents* (Worldwide Operations 1959-2011), Boeing, US.
- [2] Keith, H. (1996): *Windowless Cockpit Concept Flight Tested*, NASA NEWS Rel.No. 96-012, http://www.nasa.gov/centers/langley/news/releases/1996/Fe b96/96_12.html, US.
- [3] Berth, C., Hüttig, G.: Future Cockpit Concept for Equivalent Visual Operation. Conference, AIAA/ATIO 2009, Hilton Head, SC, USA
- [4] Berth, C.: Future Integrated Passenger Aircraft Cockpit (FIPAC). Technical report, Department of Aeronautics and Astronautics, Technische Universität Berlin, 2006.
- [5] Berth, C.: Zukunftsorientierte Entwicklung und Bewertung eines integrierten fensterlosen Cockpitsystems. Dissertation, Department of Aeronautics and Astronautics, Technische Universität Berlin, 2010.
- [6] Nolting, J., Breiler, E.: Mehr Schmerz bei 100Hz? - Eine Untersuchung zur visuellen Leistungsfähigkeit bei verschiedenen Bildlauffrequenzen. DOZ 9/99, S. 34-38.
- [7] Lich, M.: Visuelle Navigation: Dynamik der Wahrnehmung von Eigenbewegung. Dissertation, Philipps Universität Marburg, 2010.