

ERGONOMIE IN DER FLUGZEUGKABINE

PASSAGIERPROZESSE UND MANUELLE ARBEITSABLÄUFE

A. Bauch

Lehrstuhl für Luftfahrttechnik, TU München

Boltzmannstr.15, 85747 Garching

1. MOTIVATION

Derzeit werden Flugzeuge mit technisch vollständig neuen Dimensionen (A380, Flying Wing, Sonic Cruiser) entwickelt. Dies führt die Entwicklung von Passagierkabinen einer neuen Generation mit sich, ausgestattet mit neuesten Technologien, neuen Sicherheitsstandards und größtmöglichem Komfort für den Passagier bei einem immer weiter ansteigenden Payloadfaktor. Ferner stellt die Kabine in der Akzeptanz der neuartigen Flugzeuge eine wesentliche Schlüsselrolle dar. Stimmt der erste technologische Eindruck und der Komfort in der Kabine, wird die Technologie des gesamten Flugzeuges höher eingeschätzt und die Akzeptanz gegenüber einem neuen Flugzeug steigt. Es ist also sehr wichtig eine ergonomisch optimal gestaltete Kabine zu entwickeln, die den Anforderungen des Menschen gerecht wird und zugleich maximale Sicherheit für den Menschen gewährleistet. Die Ergonomie muss überall dort berücksichtigt werden, wo der Mensch und die Technik aufeinandertreffen. Die Flugzeugkabine stellt nicht nur die verschiedenartigen Ansprüche und Bedürfnisse der Passagiere während der Flugreise bereit. Sie ist zugleich Arbeitsraum für die Crew, deren Anforderungen und Bedürfnisse ebenfalls zufriedengestellt werden müssen.

Welche physischen und psychischen Eigenschaften prägen den Passagier und die Crew von morgen? Wann, wo und zu welchem Zweck werden sich die Menschen in der Kabine aufhalten? Welche Arbeitsschritte werden bei neuartigen Galleysystemen auf die Crew zukommen? Welcher Komfort im Bezug auf Inneneinrichtung, Kabinensysteme und Infrastruktur steht dem Passagier zur Verfügung? Solche und ähnliche ergonomische Fragestellungen stellen sich bereits in frühen Phasen der Entwicklung und immer dann, wenn die Anforderungen an die Technik neu definiert werden müssen.

2. EINFÜHRUNG

2.1. Ergonomie

Ergonomie (aus dem griechischen $\epsilon\rho\gamma\alpha\sigma\iota$ = Werk, Arbeit; $\nu\omicron\mu\omicron\sigma$ = Regel, Gesetz, Regel) bezeichnet eine Wissenschaft die sich mit den physischen und psychischen Eigenschaften des Menschen und der wechselseitigen Anpassung zwischen dem Mensch und der Technik sowie den Umgebungsbedingungen beschäftigt.

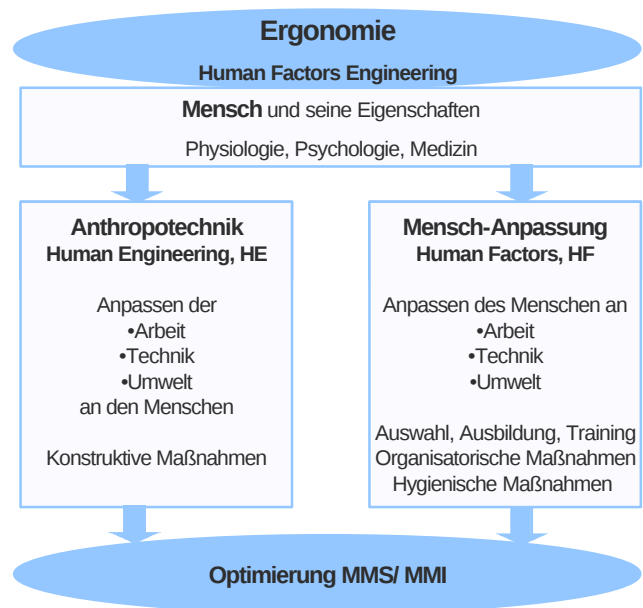


BILD 1. Aufgaben der Ergonomie [6]

Die Ergonomie (Human Factors Engineering) passt die technische Umgebung an den Menschen an (Anthropotechnik, Bild1) oder vice versa den Menschen an seine technische Umgebung (Mensch-Anpassung, Bild1). Ziel der Ergonomie ist die Optimierung des Gesamtsystems Mensch-Technik-Umwelt (MMS/ MMI - Mensch-Maschinen-Schnittstelle) bezüglich Leistung und Zuverlässigkeit bei minimaler Belastung des Menschen. Um dem Ziel gerecht zu werden eine humane Technik für den Menschen zu schaffen, muss die Ergonomie von allen Wissenschaften partizipieren und dieses Wissen koordinieren und zusammenführen (multidisziplinärer Charakter der Ergonomie, Bild2).



BILD 2. Der Multidisziplinäre Charakter von

Ergonomie

Die Optimierung der Mensch-Kabinen/ Maschinen-Schnittstelle (MMS, MMI, Bild 3) bedeutet alle Teilsysteme und deren Verbindungen aufeinander abzustimmen. Basis jeder Optimierungsaufgabe ist die Analyse des zu konzipierenden oder beurteilenden Gesamtsystems nach einer ergonomischen Prüfliste (z.B. Prüfliste nach Rohmert). Aus der Analyse folgt die Modellierung des Gesamtsystems mit allen beteiligten Komponenten, Randbedingungen, Funktionsverteilungen und Wertigkeiten nach systemergonomischen Richtlinien.

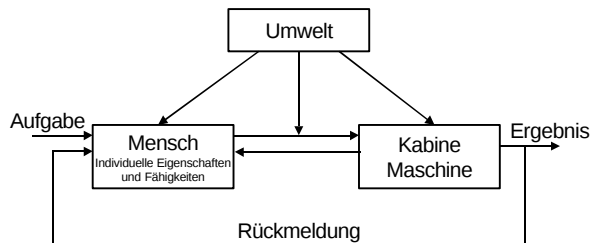


BILD 3. Vereinfachte Darstellung des Gesamtsystems Mensch-Kabine-Umwelt

Die Optimierung des Gesamtsystems Mensch-Maschine-Umwelt erfolgt anschließend nach den Kriterien

- Sicherheit (unter Berücksichtigung von Leistung, körperlichen und geistigen Einschränkungen und weiterer Limitationen)
- Effizienz
- Einfache Bedienbarkeit und kurze Einarbeitungsphase (Einfach zu lernen, um Fehler zu minimieren)

2.2. Der Mensch

Der Mensch, als das vollkommenste aller Teilsysteme muss im Mittelpunkt des Gesamtsystems stehen. Es gilt eine Technik zu schaffen, die vom Menschen ausgeht und für ihn gemacht ist. Das menschliche Verhalten ist durch die physiologischen, psychologischen und sozialen Umwelteinflüsse geprägt. Da das menschliche Verhalten mehrdimensional ist, müssen verschiedene Faktoren und Umweltbedingungen bei der Beschreibung und Erfassung berücksichtigt werden.

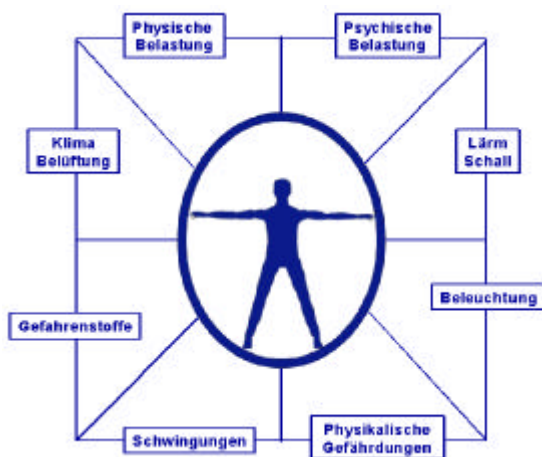


BILD 4. Einflussfaktoren auf den Menschen

In Bild 4 sind die Einflussfaktoren auf den Menschen zu sehen. Neben den wesentlichen Faktoren, physische und psychische Belastung, haben vor allem Klima, Lärm und Beleuchtung signifikanten Einfluss auf den Menschen, wobei der Mensch selbst den Einfluss spezifizieren kann. Gefahrenstoffe (chemisch und biologisch, Krankheitserreger, toxische Stoffe, Staub, Gase, Dämpfe), Physikalische Gefährdungen (Strom, elektromagnetische Felder, Strahlung), und Schwingung haben ebenfalls einen starken Einfluss auf den Menschen, werden von diesem aber im Normalfall nicht unmittelbar wahrgenommen.

2.2.1. Physiologie

Das Gerüst des menschlichen Körpers ist sein Bewegungsapparat. Er trägt und stützt ihn, hält ihn zusammen und gibt ihm seine Gestalt. Der passive Teil dieses Bewegungsapparates ist das Skelett bestehend aus Knochen, Knorpeln und Gelenken. Erst durch die Skelettmuskulatur wird der Bewegungsapparat aktiv. Bewirkt werden die Bewegungen des Skeletts durch die Kontraktion dieser Muskeln, die über Sehnen mit den Knochen verbunden sind. Zum Muskelsystem werden die Muskeln mit ihren Hilfseinrichtungen, den Sehnen, Bändern und Schleimbeuteln gerechnet. Neben der reinen Bewegungsfunktion dienen die Muskeln auch zum Zusammenhalt des Körpers. Die Gelenke können nicht allein durch Knochen und Knorpeln zusammengehalten werden, sondern es erfolgt immer ein Zusammenspiel von Gelenkknochen, Knorpeln, Bändern und Muskeln.

Die einzelnen Körperteile sind in sehr unterschiedlichem Ausmaß beweglich. Das Maß der Beweglichkeit ist neben der Art und Anzahl der beteiligten Muskeln auch abhängig von der Art des Gelenks. Man unterscheidet unterschiedliche Arten von Gelenken: unbewegliche Gelenke, schwach bewegliche Gelenke (z.B. zwischen den beiden vorderen Beckenknochen) und bewegliche Gelenke. Zusätzlich unterscheidet man verschiedene Typen beweglicher Gelenke. Ein Arm lässt sich z.B. im Schultergelenk (Kugelgelenk mit drei Freiheitsgraden) in alle Richtungen strecken, beim Kniegelenk dagegen ist die Bewegung wegen des Scharniergelenks auf eine Bewegungsebene (zwei Freiheitsgrade) beschränkt.

Jedes Gelenk hat also einen spezifischen Aktionsraum. Je näher sich die Auslenkung, entsprechend der Haltung bzw. Bewegung, den Grenzen dieses Aktionsraumes nähert, desto schwerer ist es für den Menschen diese Haltung aufrechtzuerhalten. Er muss dazu mehr Muskelkraft aufwenden. Jede Haltung und jede Bewegung, ob aktiv oder passiv, ist durch die Wirkung der Muskulatur dominiert. Zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Körperhaltung müssen aktive Muskelkräfte aufgebracht werden. Zusätzlich treten infolge erzwungener Haltungen passive Muskelkräfte auf. Fällt ein an der Bewegung beteiligter Muskel aus, so ist das Aufrechterhalten einer Haltung aber auch der Einsatz von passiver Muskelarbeit mit Schmerzen verbunden. Von einem entspannten Zustand wird gesprochen, wenn alle Muskeln ein minimales Aktivitätsniveau haben. Dieser Zustand ist z.B. beim Schlafen in Seitenlage annähernd erreicht.



BILD 5. ANTHROPOS in NASA-Neutralhaltung

Eine wirklich entspannte, nicht eingeschränkte Haltung kann nur in Schwerelosigkeit erreicht werden (NASA-Neutralhaltung Bild 5). Alle Bemühungen, diese entspannte Haltung in der Schwerelosigkeit zu verlassen, führt zu Diskomfort und Ermüdung [5].

2.2.2. Anthropometrie

Die Anthropometrie, Körpermesskunde oder Menschenmesskunde beschäftigt sich mit der Erfassung, Anwendung und Auswertung der Körpermaße, der biomechanischen Daten und sämtlicher physiologischen Eigenschaften des Menschen, wie beispielsweise Greifräume (Funktionsmaße) und Sichtfelder. Das gewonnene Datenmaterial dient als Grundlage für den Entwickler, der mit dessen Hilfe Maschinen, im Speziellen die Passagierkabine, so gestaltet kann, dass für den Menschen bei deren Benutzung keine gesundheitlichen Schäden oder zu hohe Belastungen auftreten.

Das Datenmaterial wird durch eine anthropometrische Messung bei einer angemessenen Stichprobe gewonnen und statistisch ausgewertet. Als Datenblätter (DIN 33402, Handbuch der Ergonomie [7]) oder in einer ergonomischen Datenbank liegen sie differenziert für den Anwender bereit. Die Differenzierung der Daten erfolgt nach Geschlecht, Alter, Nationalität, Akzeleration und Perzentil. In der Anthropometrie ist es üblich, den Körpermaßen Perzentile zuzuordnen. Ein Perzentil gibt an, wie viel Prozent einer Messreihe ein Körpermaß unterschritten hat. Für die Konstruktionsarbeit wichtig ist unter anderem das 95. Perzentil (Bild 6), das heißt, bei 95% der vermessenen Personen ist das Körpermaß kleiner als das Angegebene.

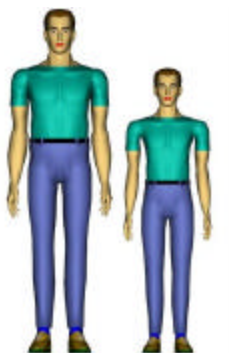


BILD 6. ANTHROPOS; 95. und 5. Perzentil

Die typifizierenden Parameter sind alle eindeutig messbar und lassen sich in ihrer Gewichtung präzise strukturieren.

2.2.3. Psychologie

Neben den typifizierenden Parametern sind vor allem die psychische Verfassung, die Erfahrungswerte und die Leistungsbereitschaft des Individuums ausschlaggebend. Der überwiegende Teil der psychologischen Parameter oder Eigenschaften, welche die mentale Verfassung und Erfahrungswerte beschreiben und so das individuellen Verhalten der Passagiere in Wechselwirkung mit der Typifizierung und der physischen Verfassung bestimmen, ist nicht präzise zu erfassen und statistisch auszuwerten. Nur einzelne Aspekte der Leistungsbereitschaft des Menschen sind erfassbar, und dann in ihrer Gewichtung strukturierbar. Typische Parameter sind Kondition, Trainingszustand und Mobilität, die sich in Grad einstufen lassen und teilweise auch in den ergonomischen Datensammlungen als Differenzierungsmerkmale auftreten.

Bei der Analyse des Kabinenumfelds für den Passagier sind zunächst Faktoren wie Wohlbefinden, Motivation und Stimmung maßgeblich. Diese müssen bei der Komfortanalyse berücksichtigt werden. Zusätzlich kommen Verhaltensstrukturen hinzu, die z.B. durch Stress, Panik, Angst oder Gruppenzugehörigkeit (sozialer Umwelteinfluss) entstehen. Auch diese treten in Wechselwirkung mit den zuvor spezifizierten Parametern auf und teilweise führen sie auch zu einer vollständigen Überlagerung der ursprünglichen Verhaltensstruktur. Diese Eigenschaften und Verhaltensstrukturen des Menschen müssen bei der ergonomische Analyse im Flugzeug in hohem Maße berücksichtigt werden. Das Fliegen an sich ändert den Menschen schon in seiner Verhaltensstrukturen, häufig treten Panik, Angst oder Stress bedingt durch die Flugreise auf. Besonders bei Untersuchungen bzgl. der Kabinensicherheit müssen Panikzustände, Stress- und Angstverhalten mit einbezogen werden. Bei Passagierprozessen und während einer Evakuierung ist die Gruppenzugehörigkeit ein maßgeblicher Faktor für das Verhalten der einzelnen Individuen.

Bei Untersuchungen von Arbeitsabläufen in der Kabine sind vor allem die Faktoren Stress, Vigilanz, Motivation, Bildungsgrad und Leistungsbereitschaft zu berücksichtigen. Diese Eigenschaften sind entscheidend für die Leistung des Arbeiters bei der Arbeit und somit für die effiziente und sichere der Arbeitserfüllung.

2.3. Anthropometrische Menschmodelle

Schon während der Konstruktionsarbeit, in einer sehr frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, müssen die ergonomischen bzw. anthropometrischen Anforderungen berücksichtigt werden. Dazu wurden bisher Mensch-Modelle wie z.B. die Bosch-Jenik-Zeichenschablone oder Datentabellen verwendet. In der jetzigen Zeit wird mit 3D/CAD-Mensch-Modellen gearbeitet, Simulationswerkzeuge, mit deren Hilfe man den Menschen und seine natürlichen Haltungen und Bewegungen simulieren kann. Der Grund der Entwicklung dieses geometrisch und kinematisch genauen 3D-Modelles des Menschen ist die Ungenauigkeit der 2D-Schablonen. Diese sind in ihrer Ausmodulierung nur an der Körperhöhe orientiert und nehmen keine Rücksicht auf die unterschiedliche Morphologie bei gleicher Körperhöhe, wie z.B. Sitzriese und -zwerg. Weiter verlangen sie, wie auch das Arbeiten mit Perzentiltabellen, ein hohes Maß an Kenntnissen im Umgang mit Ihnen. All dies wird erleichtert durch das

Bereitstellen von anthropometrischen Menschmodellen wie ANTHROPOS, RAMSIS oder Jack.

Bei der Verwendung von Menschmodellen in der Konstruktion ist die Güte der Gestaltung in sehr hohem Maße von der Verwendung des zugrundeliegenden anthropometrischen Datenmaterials abhängig. Eine Voraussetzung für die Qualität des Datenmaterials ist die Genauigkeit der Messung und die Auswahl einer geeigneten Stichprobe, die eine vorgesehene Benutzergruppe hinsichtlich Geschlecht, Alter und sozialer Differenzierung repräsentieren soll.

Die Integration des Menschen in die virtuelle Welt (Bild 7) bzw. in die 3D/CAD-Umgebung (Bild 8) mittels eines anthropometrischen Menschmodells ermöglicht die Darstellung und Untersuchung kabinenspezifischer menschlicher Bewegungsabläufe und der Schnittstelle Mensch/ Maschine (Kabine) lange bevor die Flugzeugkabine real greifbar ist.



BILD 7. ANTHROPOS in DBView [1]



BILD 8. ANTHROPOS in 3D Studio MAX

Es wird dem Entwickler, der Airline und dem Anwender (Crew, Passagier, Arbeiter) nicht nur ein Blick in die Kabine von morgen ermöglicht. Kabinenlining, Bestuhlungskonfiguration, spezielle Bedienkonzepte, Wirkung von Licht und Texturen und Systemintegration können so zu einem sehr frühen Zeitpunkt hinsichtlich

ergonomischer Aspekte betrachtet, analysiert und optimiert werden. Lange bevor ein reales Mock-Up gebaut wird, kann mit der Computersimulation bereits festgestellt werden, ob Sitze, Overhead Bins, Bedienpanels, Sicherheitsgurte und andere Bauteile so aufgebaut und angeordnet sind, dass der Mensch alles erreichen und bedienen kann und genügend Freiraum hat, um sich ungehindert und ohne Kollision bewegen zu können. Es lassen sich verschiedene Bauteilanordnungen simulieren und so deren Wirkung und Einschränkungen auf den Menschen testen.

3. KABINENERGONOMIE

Die Flugzeugkabine stellt eine bedeutende ergonomische Herausforderung dar. Sie ist auf kleinstem Raum zugleich Reiseumfeld für den Passagier und Arbeitsumfeld für Crew und Arbeiter. Aufgabe der Kabinenergonomie ist die anwendergerechte Gestaltung der Kabine unter bestmöglichem Kosten-/ Nutzenverhältnis für Hersteller und Airline. Die Tätigkeit eines Ergonom in der Flugzeugkabinenentwicklung setzt sich im wesentlichen aus drei Bereichen zusammen:

- 1) Reiseumfeld für den Passagier
- 2) Arbeitsumfeld für Crew und Arbeiter
- 3) Kabinensicherheit

Betrachtet man das Arbeitsumfeld Kabine so liegt der Fokus der ergonomischen Arbeit in der Optimierung der MMS, bei der Ergonomieanalyse im Bereich Reiseumfeld Kabine in der Auslegung der passagierspezifischen Funktionsmaße, der Analyse von Passagierprozessen und in der Auseinandersetzung mit der Maslow'schen Bedürfnispyramide bzw. ihre Fokussierung in der Komforthierarchie nach Bubb (Bild 10). Im Bereich Kabinensicherheit liegt das Hauptaugenmerk auf der Analyse und Optimierung des Evakuierungsprozesses für eine sicherheitsgerechte Entwicklung der beteiligten Kabinenkomponenten und Hilfsmittel.

Ziele der ergonomischen Analysen sind die Verifizierung und Optimierung der vorhandenen Kabinengeometrien, Kabinensysteme und der beteiligten Bewegungsabläufe des Menschen. Interessante Bewegungsabläufe in der Flugzeugkabine sind Passagierprozesse und manuelle Arbeitsabläufe aus den Bereichen Service, Kabinenreinigung und Wartung. Wichtige Aspekte sind Untersuchungen wie Haltungs-, Kraft-, und Komfortanalysen und die Darstellung von Freiräumen, Greifräumen, Erreichbarkeit und Sichtfeldern, sowie das Bewerten der MMS und der beteiligten Arbeitsabläufe hinsichtlich Leistung, Ermüdung und Erholungszeit.

Ergebnis der ergonomischen Analysen ist neben der Verifizierung und Optimierung verschiedener Kabinen- oder Bauteilgeometrien ein Konzept zur abgestimmten Gestaltung der Kabine hinsichtlich Komfort, Flugerlebnis und aktiver Sicherheit für den Passagier und hinsichtlich einer optimalen Arbeitsgestaltung für Crew und Wartungsarbeiter. Das Konzept beinhaltet Konstruktionsrichtlinien, Richtlinien zur Arbeitssystemgestaltung und Komfortrichtlinien die speziell auf die Kabine abgestimmt sind und den luftfahrttechnischen Gesetzesgrundlagen genügen.

3.1. Reiseumfeld Kabine

Im Mittelpunkt steht der Passagier mit seinen Wünschen, Bedürfnissen, Anforderungen, Ängsten und Komfortansprüchen (Bild 9).



BILD 9. Wünsche, Bedürfnisse und Anforderungen der Passagiere

Zusätzlich ist der Reisetyp entscheidend. Der Passagier tritt als entweder als Urlaubs- oder als Geschäftsreisender auf. Die Anforderungen dieser beiden Passagiergruppen sind unterschiedlich und müssen bei der Auslegung individueller Kabinenkomponenten berücksichtigt werden. Als Urlaubsreisender hat ein Passagier weniger Anforderungen an die Kabine, er hat viel Gepäck jedoch meist wenig Handgepäck, der Komfort könnte besser sein, aber der Flug wird als Teil des Urlaubabenteuers gesehen (geringe Anforderungen Selbstverwirklichung). Der Geschäftsreisende hingegen hat viel Handgepäck, hohe Komfort- und Serviceansprüche und fordert eine minimale Nicht-Arbeitszeit und hinreichende Kommunikationsmöglichkeiten an Bord (hohe Anforderungen Selbstverwirklichung).

3.1.1. Zielgruppe Passagier

Für die Ergonomieuntersuchungen müssen Typen ausgewählt werden, welche die Zielgruppe Passagier hinreichend repräsentieren. Bei den Passagieren variieren die typifizierenden Daten für Eigenschaften, Bedürfnisse und Beanspruchung in extremer Weise. Eine Kabine muss so ausgelegt werden, dass sie für beide Geschlechter, alle Bevölkerungsgruppen und alle Altersstufen bei einer Akzeleration bis 2050 unter Berücksichtigung der Reisetyps ein optimales Umfeld für die Reise darstellt.

Eine Normierung im Bereich Passagier stellt entweder in einer Weise Ansprüche an die Kabine, die so nur schwer realisierbar sind, oder ein großer Anteil der Passagiere ist in mindestens einer Hinsicht überfordert. So ist nur für die Auslegung kabinenspezifischen Kenngrößen und sicherheitsrelevanter Bereiche (muss für alle nutzbar sein) eine Normierung sinnvoll. Für Bedienkonzepte und passagierbezogene Kabinenbauteile muss die Individualisierung groß geschrieben werden.

Für eine korrekte Definition der Zielgruppe müssen allgemeine und luftfahrtspezifische evolutionäre Aspekte berücksichtigt werden. Allgemein lässt sich feststellen,

dass die Passagiere immer älter werden und dass zunehmend Frauen und Kinder reisen. Zudem wird der Mensch an sich und somit auch der Passagier immer größer und fatter. Die Zunahme der Körpergröße kann man durch die Akzeleration berücksichtigen, nicht so die zunehmende Fettleibigkeit der Menschen. Diese ist noch nicht vollständig statistisch erfasst worden und so auch nicht anthropologisch absehbar. Hier können nur angenäherte Körpermassenverteilungen durch Variationen von Korpulenz und Proportionalität bei den Untersuchungen berücksichtigt werden. Aufgrund der zunehmenden Fettleibigkeit muss auch eine Erhöhung des Durchschnittsgewichtes (derzeit 78-80Kg) berücksichtigt werden.

Die Zielgruppe hinsichtlich der Optimierung kabinenspezifischer Kenngrößen und sicherheitsrelevanter Bereiche ist die gesamte Weltbevölkerung im Jahre 2010-50. Für die Analysen wird zur Untersuchung von inneren Maßen der deutsche Mann, 95. Perzentil, verwendet. Zur Untersuchung der äußeren Maße verwendet man die japanische Frau, 5. Perzentil. In einzelnen Bereichen, wie z.B. bei der Auslegung von Overhead Bins, können Untersuchungen mit zusätzlichen Typen nötig sein.

3.1.2. Passagierspezifische Funktionsmaße

Wesentliche konstruktive Funktionsmaße für die ergonomisch richtige Auslegung von Flugzeugkabinen sind Sitzklassifikation und -Ausführung (Seat Pitch, Seat Abreast, etc.), Freiräume (Kopffreiraum, Ellenbogenfreiraum, etc.), Weiten (Gangbreite, Sitzbreite, etc.), Toiletten (Lage, Ausführung), Overhead Bin (Ausführung, Erreichbarkeit), PSU (Ausführung, Erreichbarkeit, Bedienbarkeit), Sicht und die Bedienung des In-Flight-Entertainments (Ausführung, Erreichbarkeit, Verständlichkeit). Die Funktionsmaße Freiräume, Seat Pitch und Weiten sind ebenso als grundlegende Komfortmaße zu verstehen, wobei max. Funktionsmaß = max. Komfort gilt.

Weitere Kenngrößen sind der Service in der Kabine, Licht-, Lärm- und Klimaverhältnisse und das Vorhandensein von Komfortaspekten in der Kabine (z.B. Sonnenblenden, Bar, Informationsterminal, Zeitschriftenablage, Sleepersitze, Unterhaltung, Telekommunikation usw.). Diese Kenngrößen werden überwiegend bei der Komfortanalyse berücksichtigt. Licht-, Lärm- und Klimaverhältnisse stellen die existenzielle Basis des Menschen dar und sind somit Grundlage jeglicher Untersuchung. Bei einem großen Teil der Untersuchungen die in Vorentwicklung und Entwicklung der Kabine durchgeführt werden müssen, werden für diese Faktoren kabinentypische Standardwerte angenommen.

3.1.3. Passagierprozesse

Prinzipiell gesehen kann der Mensch als Passagier wie auch als Crew an Bord von Flugzeugen alle natürlichen aber auch aufgezwungene unnatürliche Bewegungen ausführen. Die Anzahl der Bewegungsmöglichkeiten an Bord ist unendlich. Keiner kann genau festlegen, wer sich genau wann und zu welchem Zweck, aber auch auf welche Weise bewegt. Es gibt jedoch einige Grundbewegungen, hierzu gehören sowohl normale Bewegungsabläufe wie Gehen, Laufen, Hinsetzen oder

das Greifen von Objekten als auch flugzeugspezifische Bewegungsabläufe wie das Öffnen von Overhead Bins oder das Aufklappen der Tablets die alle Menschen an Bord ähnlich oder mit dem gleichen Ziel ausführen.

Passagierprozesse stellen hier kabinenspezifische Bewegungsabläufe dar, die immer wieder auftreten, die von den meisten Passagieren an Bord ähnlich durchgeführt werden müssen und die erst aus dem Zusammenwirken vieler Passagieren entstehen. Jeder einzelne Passagier trägt mit seinem persönlichem Verhalten mehr oder weniger bewusst zum Ablauf des gesamten Passagierprozesses bei. Die wichtigsten Passagierprozesse sind Boarding und Deplaning. Auch ein Teil des Evakuierungsvorganges kann als Passagierprozess gesehen werden. Da die Evakuierung jedoch durch das optimale Zusammenspiel von Crew und Passagier dominiert wird, kann sie nicht auf einen reinen Passagierprozess reduziert werden.

Ziel der Untersuchungen von Boarding- und Deplaningprozessen ist die Optimierung des Passagierprozesses an sich (daraus folgt die Reduktion der TRT) sowie die Analyse und Optimierung von Neuentwicklungen im Bereich Kabine wie z.B. der Einsatz von Treppen, Treppenlifte, Lifte oder Klappsitzen. Die neue Bauteile können so hinsichtlich der Geometrien optimiert, und hinsichtlich ihres Nutzens und der Einsetzbarkeit verifiziert werden. Zusätzlich können durch eine anthropometrische Visualisierung inklusive der Simulation von Sichtfeldern neue Passagierleitsysteme, Orientierungshilfen, Beschilderungen (Art und Position) und Boardingprozeduren untersucht und optimal an den Passagier angepasst werden.

3.1.4. Komfort

Der Komfort (lat. Bequemlichkeit, Behaglichkeit) drückt das subjektive Empfinden des Menschen in einer bestimmten Situation aus, abhängig von den Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten des Einzelnen. Komfort ist ein nicht operational unmittelbar erfassbarer Begriff. Er muss aus einem theoretischen Zusammenhang heraus und aus einer Reihe beobachtbarer Ergebnisse erschlossen und interpretiert werden. Im Bereich des Haltungskomforts wird Komfort oft auch als Abwesenheit von Diskomfort beschrieben. Allgemein gilt diese Regel jedoch nicht und eine Reduktion von Diskomfort bedeutet nicht unmittelbar das Erzeugen von Komfort.

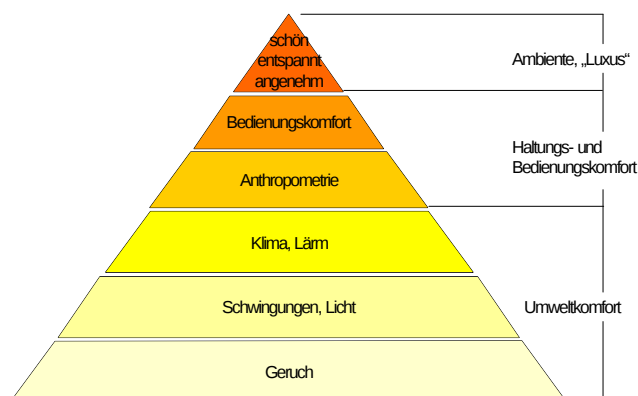


BILD 10. Komforthierarchie nach Bubb [3]

Der Komfort ist von der Art der Anforderung an den Menschen und von der Art, Höhe, Dauer und Zusammensetzung der Belastung abhängig. Die Belastung ist ein objektiver von der Person unabhängiger Parameter. Verschiedene Belastungsarten sind z.B. Sitzhaltung, Lärm, Lichtverhältnisse etc. Hinzu kommen dann die individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen. Daraus folgend kann die Beanspruchung an den Menschen, also die subjektive Belastungsauswirkung auf ein Individuum, beschrieben werden. Den Komfort beschreibende Adjektive sind z.B. angenehm, komfortabel, gut, bequem und behaglich [2].

Bisher wird der Komfort in der Kabine durch den Komfortfaktor (=Kabinenbreite in cm/ Passagiere nebeneinander) definiert. Betrachtet man jedoch die Komplexität von Komfort, sieht man, dass dieser Komfortfaktor für eine Bewertung nicht ausreichend ist. Für eine aussagekräftige Komfortwertung und um die Kabine an die Komfortbedürfnisse optimal anpassen zu können sind zeitgerechte innovative Konzepte und Bewertungsschemata notwendig.

Grundlage bildet eine Wertung der kabinenspezifischen Funktionsmaße durch den Passagier. Dabei ist die Bewertung des Komfortempfindens bzw. des Wohlbefindens stark abhängig von der subjektiven Verfassung des Passagiers. Hier spielt besonders die Situation "Flug" eine große Rolle. Das Komfortempfinden wird durch die veränderten Umgebungsbedingungen sowie persönliche flugbedingte Stresssituationen stark beeinflusst. Entsprechende der Komforthierarchie nach Bubb (Bild 10) müssen die einzelnen Faktoren, die den Komfort definieren, zusammengeführt werden und anhand einer Passagierbefragung gewertet werden. So entsteht eine individuelle Komfortwertung verschiedener Kabinenkonfigurationen aus der sich Richtlinien oder Bewertungsmaßstäbe für neue Kabinenkonfigurationen ermitteln lassen. Zusammen mit einer Wertung des Haltungskomforts aus ANTHROPOS (Anthropometrie) liefern die individuellen Faktoren eine Gesamtkomfortaussage für die Kabine und ermöglichen so eine Komfortwertung der Kabine in Vorentwicklung und Entwicklung, lange bevor sie real gebaut wird.

3.2. Arbeitsumfeld Kabine

Im Mittelpunkt der Analysen steht die korrekte, sichere und effiziente Abarbeitung der Arbeitsaufgabe. Das Arbeitsumfeld muss so gestaltet sein, dass der Mensch mit maximaler Leistung mit minimaler Belastung sein Arbeitsaufgabe absolvieren kann. Unter Arbeit wird im allgemeinen jede ausgeübte Tätigkeit zur Erreichung eines gesetzten Arbeitszieles verstanden. Aus ergonomischer Sicht versteht man unter Arbeit die Gesamtheit von Energieumsatz und Informationsverarbeitung um ein gesetztes Aufgabenziel zu erreichen. Leistung definiert sich ergonomischer Sicht aus dem Einsatz (Energieumsatz + Informationsverarbeitung) der innerhalb einer begrenzten Zeit zu dem gewünschten Aufgabenziel bzw. zu dem gewünschten Arbeitsergebnis führt.

Analysen im Bereich Arbeitsumfeld Kabine beschäftigen sich überwiegend mit der Arbeitsgestaltung für Crew, Reinigungspersonal und Wartungsarbeiter (Anthropotechnik). Durchgeführt werden anthropometrische

Visualisierungen von Arbeitsvorgängen zur Analyse der Prozesse und als Basis für die nachfolgende Analyse der einzelnen aufgabenbezogenen MMS sowie des Gesamtsystems Arbeitsumfeld Kabine. Grundlage ist in eine präzise Untersuchung (Haltung- und Kraftanalyse) der einzelnen Arbeitsschritte und eine genaue Untersuchung der Interaktionen mit Arbeitsplatz und –mittel. Zusätzlich müssen virtuelle interaktive Analysen verschiedener Arbeitsabläufe in einem Mixed-Mock-Up durchgeführt werden um so die Arbeitssituation genau zu erfassen und die Reaktionen des Menschen auf seine Arbeitsaufgabe und seinen Arbeitsplatz sowie reale Bewegungsabläufe zu erhalten.

Das gewonnene Datenmaterial kann sehr gut für Training und Schulung des Personals eingesetzt werden und Ergebnisse der Untersuchungen dienen für eine genaue Stellenbeschreibung und sind so hilfreich für eine gezielte Personalauswahl (Mensch-Anpassung).

3.2.1. Zielgruppe

Für die Ergonomieuntersuchungen müssen Typen ausgewählt werden, welche die Zielgruppe Crew, Reinigungspersonal bzw. Wartungsarbeiter hinreichend repräsentieren. Eine Kabine muss so ausgelegt werden, das sie für alle Arbeitsgruppen ein optimales Arbeitsumfeld darstellt.

Die Zielgruppe hinsichtlich der Bewertung der Interaktionen und zur Optimierung der Systemkomponenten ist eine ausgewählte Gruppe der Weltbevölkerung im Jahre 2010-50. Für die Untersuchungen im Crewbereich wird die deutsche Frau (50. und 95.Perzentil), die japanische Frau (5.Perzentil) und der deutsche Mann (50. und 95.Perzentil) untersucht. Sie repräsentieren die Zielgruppe Besatzung hinsichtlich der Verifizierung und der Bewertung der Systemkomponenten hinreichend. Für Untersuchungen im Bereich Wartung und Reinigung wird der japanische Mann 5. Perzentil und der deutsche Mann 50. und 95. Perzentil untersucht.

3.2.2. Analyse Arbeitsplatz

Untersucht werden typische luftfahrttechnische Arbeitsvorgänge aus der Flugvorbereitung (Catering, Cabin Cleaning) und dem In-Flight-Service. Zusätzlich erfolgt die Analyse und Optimierung sicherheitskritischer Bereiche und Arbeitsschritte sowie eine Analyse verschiedene Wartungsvorgänge (z.B. ein Luftfilterwechsel oder die Montage eines Sidewallpanels). Im einzelnen werden Arbeitsflächen, Arbeitstische, Konsolen, Sitze, Trolleys, Bedienelemente, Steuerarmaturen und Stellteile hinsichtlich ihrer Abmessungen, Erreichbarkeiten und funktionsbedingten Bedienkonzepte untersucht und optimiert (Beispiele siehe Bild 11/ 12). Zusätzlich erfolgen Sichtanalysen wie z.B. die Analyse der Sichtfelder aus Position CAS in die Kabine und die Analysen der verschiedenen, in der Kabine auftretenden, visuellen Anzeigen. Durchgeführt werden die Analysen auf Basis unterschiedlicher, den Aufgaben entsprechend ausgewählter, anthropometrischer Menschmodelle.

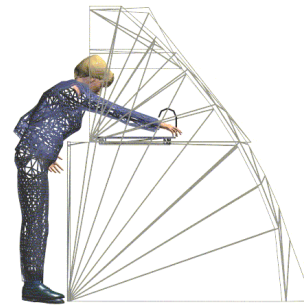


BILD 11. Analyse Arbeitsfläche (Höhe, Tiefe) Galley



BILD 12. Gelenkmomente Arme beim Heben einer vollen Kaffeekanne in oberer Position

Arbeiten im Bereich In-Flight-Service beinhalten neben der Analyse der einzelnen beteiligten Arbeitsabläufe eine Analyse des Serviceprozesses. Ziel ist die Optimierung des Serviceprozesses und eine Verbesserung des Services für Crew und Passagiere. Im einzelnen bedeutet dies:

- Erhöhung der Effizienz des Serviceprozesses
- Höhere Servicequalität
- Höheren Grad an Kundenzufriedenheit
- Höherer Grad an Crewzufriedenheit
- Verbesserte Arbeitsbedingungen für die Crew

Wobei verbesserte Arbeitsbedingungen für die Crew einen höheren Grad an Crewzufriedenheit, und ein höherer Grad an Crewzufriedenheit einen höheren Grad an Kundenzufriedenheit resultieren. Zusammen mit einer höheren Servicequalität resultiert so eine Erhöhung der Effizienz des Serviceprozesses. Neben den herkömmlichen Prozeduren und Komponenten können auch neue Servicekonzepte und –Komponenten (Unterflurgalley, Trolleylift, neue Trolleykonzepte) hinsichtlich ihres Mehrwerts und der resultierenden Arbeitsabläufe untersucht werden.

3.3. Kabinensicherheit

Die Kabinensicherheit ist in der Entwicklung und im Betrieb eines Passagierflugzeuges von großer Bedeutung. Ziel ist es, Passagiere und Crew während des Aufenthalts an Bord vor allen für sie gefährlichen Einwirkungen zu schützen und im Notfall Sicherheit vor möglichen Gefahren und Bedrohungen zu schaffen.



BILD 13. Kabinensicherheit

Die Kabinensicherheit umfasst die Evakuierbarkeit, Brandsicherheit, und das Ditching- und Crashverhalten der Kabine, den optimalen Einsatz der beteiligten Hilfsmittel und die kabinenspezifischen Crewprozeduren (Bild 13). Durch die hohe Passagierdichte in der Kabine treten besondere Anforderungen an die notwendigen Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen auf. Zusätzlich muss eine neue Qualität von Sicherheit für den Passagier angestrebt werden. Es reicht nicht aus nur den derzeitige Sicherheitsstandard bei Verkehrsflugzeugen zu gewährleisten, sondern es muss ein höherer Sicherheitslevel erreicht werden.

Der Einsatz von anthropometrischen Menschmodellen im Bereich Kabinensicherheit ermöglicht eine präzise ergonomische Analyse von Evakuierungslogistik, Evakuierungsprozess und der benötigten Hilfsmittel (Rutsche, Schwimmwesten, Gurte, etc.). Es werden Partiale Scale Tests auf Basis vorhergehender Tests oder einer entsprechenden Simulationssoftware simuliert bzw. visualisiert. Die Bewegungssimulation dient zur Optimierung des gesamten Evakuierungsprozesses (Abschnallen, Aufstehen, Gehen, Durchsteigen durch Notausgang, Rutschen, Weglaufen) und der beteiligten Bauteile (Rutsche, Chute, Tür, Notausgang, Schwimmweste und Bestuhlungskonfiguration). Ziel ist zunächst eine Reduktion der risikoreichen und teilweise gefährlichen Vorabtests. Die Ergebnisse stellen eine Unterstützung der Kabinenentwicklung aus Sicht der Evakuierbarkeit dar. Zusätzlich können die Ergebnisse als Unterstützung der Zertifizierung (90sec Evakuierungsnachweis) und zur Unterstützung des Crew- sowie Passagier-Trainings dienen (z.B. Darstellung der Schutzhaltung, Bild 14).



BILD 14. Schutzhaltung Passagier

4. ZUSAMMENFASSUNG

Der Stellenwert der Ergonomie in der Kabinenentwicklung steigt zunehmend wobei die Teilgebiete Anthropotechnik und Mensch-Anpassung in unterschiedlichem Maße ausgeprägt sind. Der Mensch als Passagier, Crew und Arbeiter muss im Mittelpunkt der Kabinenentwicklung stehen, es gilt eine Technik zu schaffen, die vom Menschen ausgeht und für ihn gemacht ist. Dabei müssen vor allem die physischen und psychischen Eigenschaften und Verhaltensweisen des Menschen sowie typische flugbedingten Einflussfaktoren auf den Menschen berücksichtigt werden.

Eine gute Möglichkeit die Ergonomie schon früh in den Entwicklungsprozess zu integrieren ist der Einsatz anthropometrischer Menschmodelle integriert in die 3D/CAD oder Virtual Reality Umgebung. Sie ermöglichen es, die ergonomische bzw. anthropometrische Denkweise dem Entwickler (Ingenieur, Konstrukteur, Designer) näher zu bringen, und so eine Brücke zwischen Entwickler, Betreiber und Anwender (Passagier, Crew) zu schlagen.

Zusammen mit kabinenspezifischen Ergonomierichtlinien und anwenderspezifischen Know-how lässt sich mittels anthropometrischer Menschmodelle schon in der Vorentwicklung und Entwicklung das Reiseumfeld für den Passagier und das Arbeitsumfeld für Crew und Wartungsarbeiter optimieren. Beim Einsatz im Bereich Kabinensicherheit ermöglicht die präzise Analyse von Evakuierungslogistik, Evakuierungsprozess und der benötigten Hilfsmittel eine zielgerichtete Entwicklung im Hinblick auf einen neuen Sicherheitsstandard und ermöglicht eine Verringerung der risikoreichen und teilweise gefährlichen Vorabtests.

5. ACKNOWLEDGEMENT

Die Arbeiten zu diesem Thema erfolgen im Rahmen des Projekts „Technologie und Integration von Passagiersystemen“ bei der EADS Airbus GmbH und werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

6. LITERATUR

- [1] ANTHROPOS Dokumentation, Daimler Chrysler Forschung und Technik, VRCC, FT3/ EV, Ulm, 2000
- [2] Bauch, Anna Elisabeth, Untersuchung zum Komforteindruck ausgewählter Armhaltungen, Technische Universität München. Lehrstuhl für Ergonomie, 1998
- [3] Bubb, Heiner; Ergonomie und Verkehrssicherheit, GfA Konferenzbeiträge der Herbstkonferenz 2000, Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, München, 2000
- [4] Burandt, Ulrich, Ergonomie für Design und Entwicklung, Dr. Otto Schmidt Verlag, Köln, 1978
- [5] Krist, Reanate, Modellierung des Sitzkomforts - Eine experimentelle Studie, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie, 1994
- [6] Löhr, Reiner W., Ergonomie, Vogel-Verlag, Würzburg, 1976
- [7] Schmidtke, Heinz, Handbuch der Ergonomie, Band 1-4, Hrsg. Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1989