

REALITÄTSNAHE SIMULATION VON MENSCHEN UND MENSCHENFLUSSPROZESSEN IN DER FLUGZEUGKABINE

Dipl.-Ing. Tilman Richter
 Lehrstuhl für Luftfahrttechnik
 Technische Universität München
 Boltzmannstr. 15 / 85747 Garching

1. ÜBERSICHT

Aufgrund der stetig steigenden Komplexität gewinnt die Simulation der Eigenschaften und des Verhaltens hochtechnologischer Produkte in der Konzept- und Entwicklungsphase immer mehr an Bedeutung. Grundlegendes Ziel ist dabei immer die Erweiterung und Steigerung des Produktwissens in den frühen Entwurfsphasen um in diesem Stadium für kritische Entscheidungen bereits eine möglichst fundierte Informationsgrundlage zu schaffen und um hier Fehler zu vermeiden, die später nur kostspielig und aufwendig korrigiert werden können. Um die oben aufgeführten Vorteile für die Kabinenentwicklung nutzen zu können, entwickelt der Lehrstuhl für Luftfahrttechnik derzeit eine Simulationsmethodik die Menschen und vor allem Menschenflussprozesse in der Flugzeugkabine realitätsnah abbilden kann. Allgemeines Ziel ist die Simulation von „Onboard“-Prozessen wie „Boarding/Deboarding“ oder die „Evakuierung“ von großen Menschenmengen, um aktuelle BWB-Studien und Megaliner-Projekte zu berücksichtigen. Kern des Simulationssystems ist die realitätsnahe Beschreibung des zu simulierenden Menschmodells hinsichtlich seiner psychischen (verhaltensabhängigen), ergonomisch-anthropometrischen sowie aufgaben- und szenariobezogenen Dimensionen und Eigenschaften. Um das menschliche Verhalten oder realitätsnahe menschliche Verhaltensmuster an Board von Flugzeugen in die Simulation integrieren zu können, wurde eine Reihe von Faktoren gesammelt, die das menschliche Verhalten maßgeblich beeinflussen können. Diese wurden anschließend in soziale, physiologische (z.B. Kinetose, Wahrnehmungsfähigkeit), psychologische (z.B. Angst, Geduld, Aggressionspotential, Flugerfahrung,...) und anthropometrische (z.B. Agilität, Körperpro-

portion, Alter, Körpergröße usw.) Faktoren untergliedert. Aus diesen Faktoren werden bestimmte vordefinierte Passagiercharaktere abgeleitet, die während der Simulation spezifische Verhaltens- und Bewegungsmuster annehmen können.

Ziel dieser Simulationsmethode ist eine Komfortbewertung der kompletten Kabine und des jeweiligen Kabinenprozesses. Hauptaugenmerk bei der Bewertung liegt auf dem Passagierfluss, auf der Passagierfreundlichkeit und insbesondere auf den Prozesszeiten, die seitens Boarding/Deboarding kostenrelevant und vor allem bei der Evakuierung sicherheitsrelevant sind.

2. EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Die Flugzeugkabine als „Lebensraum für den Passagier“ hat bereits heute einen immens wichtigen Stellenwert innerhalb des Produktes Flugzeug. Dies hat eine Vielzahl von Gründen, wie beispielsweise die Dauer die Menschen heutzutage innerhalb des Flugzeuges verbringen. Flüge von bis zu 18 Stunden sind keine Seltenheit mehr und daher muss die Kabine, bzw. das gesamte Produkt Flugreise, ein Mindestmaß an Komfort und Bequemlichkeit bieten, entsprechend funktionell sein und dem Passagier, die Möglichkeit geben den Flug unbeschwert und erholt überstehen zu können.

Für den Flugzeugbetreiber gilt die Kabine als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zu seinen Wettbewerbern. Der Kunde (Passagier) identifiziert die Airline direkt mit der Kabine und dem Service währende des Fluges und nimmt aerodynamische, flugmechanische oder strukturelle Eigenschaften, wenn überhaupt, nur am Rande wahr. Bereits in frühen Produktentwicklungsphasen wird seitens der Flugzeughersteller versucht

sich vom Konkurrenten abzugrenzen und den Endkunden „Passagier“ direkt anzusprechen. An den aktuellen Marketingkampagnen der beiden großen Flugzeughersteller lässt sich deutlich der Trend erkennen, dass in erheblichem Maße mit der Kabine geworben wird, dass der Passagier geradezu mit neuen Funktionen und Eigenschaften der jeweiligen Kabine umworben wird. Weiterhin haben die Flugzeugkabine und auch die Kabinenprozesse einen signifikanten Einfluss auf die Sicherheit der Passagiere und der Crew während der gesamten Reise. Die antrainierten Kabinenprozesse insbesondere bei der Evakuierung, sind Voraussetzung für die Sicherheit aller Personen an Board.

Die oben aufgeführten Anforderungen an die Flugzeugkabine werden überlagert und beeinflusst von ökonomischen Gesichtspunkten. Auch in Entwicklung und Produktion von Flugzeugen herrscht großer Kostendruck und das bei stetig steigender Systemkomplexität, steigender Variantenvielfalt und steigenden Qualitätsansprüchen.

Gelingt es das Produktwissen in die frühen Projektphasen zu verlagern (vgl. gestrichelte Linie in Bild 1), lassen sich damit auch Änderungskosten minimieren und die Freiheiten in der Produktgestaltung können deutlich effektiver genutzt werden.

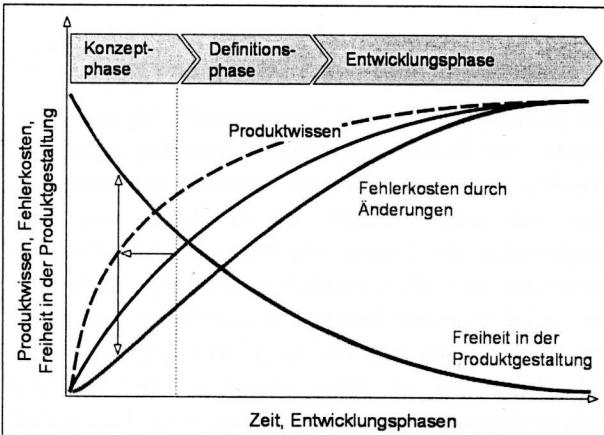


BILD 1: Entwicklungskosten in den Entstehungsphasen

Ein hervorragendes Werkzeug um dies zu erreichen, ist die Simulation in all ihren Facetten, die bereits bei ersten Projektskizzen in der Konzeptphase eingesetzt werden kann [6]. Gerade bei einem Produkt wie der Flugzeugkabine heißt dies, dass insbesondere der Mensch und sein Verhalten in die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses zu integrieren sind, da die Kabine explizit als „Lebens- und Arbeitsraum für den Menschen“ zu entwickeln ist und menschliche Belange für Zeit-

räume von bis zu 18 Stunden zu berücksichtigen sind. [1,2]

3. AUFBAU DES KONZEPTES

Will man den Menschen, sein Verhalten und die Kabinenprozesse realitätsnah simulieren, sind eine Reihe von Komponenten und Einflüsse zu beachten:

- physisch-anthropometrisch korrekte Beschreibung des Menschmodells
- berücksichtigen unterschiedlicher Verhaltensweisen der Menschen („psychisches“ Menschmodell)
- Berücksichtigung von Interaktionen zwischen Mensch-Mensch und Mensch-Kabine
- detaillierte Kenntnis und Beschreibung der Kabinenprozesse
- 3-dimensionale Integration der Flugzeugumgebung
- berücksichtigen weiterer Randbedingungen (z.B. Schräglagen des Flugzeuges, etc.)
- Implementierung eines Algorithmus zur Simulation von (großen) Menschenmengen

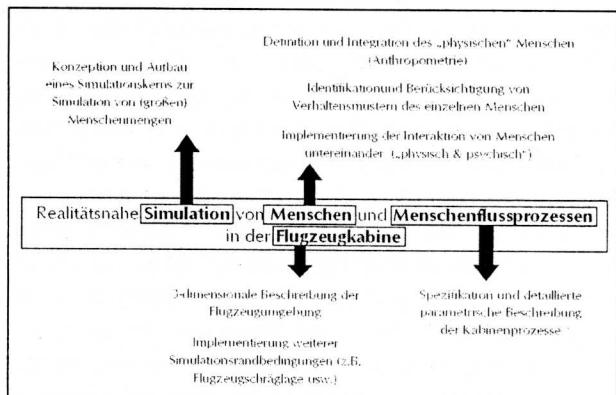


BILD 2: Einzelne Module des Gesamtkonzeptes

Jedes Modul bzw. jede Komponente des Gesamt-simulationssystems leistet entsprechende Beiträge für die Simulation, beispielsweise geben die anthropometrischen Eigenschaften die Gehgeschwindigkeit vor, eine mögliche Schräglage des Flugzeuges verändert die Gehgeschwindigkeit wiederum richtungsabhängig.

3.1. Aufbau des Simulationskerns

Der Simulationskern, bzw. die Simulationsalgorithmen, ist derart ausgelegt worden, dass all die veränderbaren Parameter (vgl. auch Kapitel 3.2

und 3.3) verarbeiten und verändern werden können. Bestimmte Eigenschaften, insbesondere beim Menschmodell, können ebenfalls für die Ergebnisinterpretation einer Simulation herangezogen werden, in Kapitel 3.5 wird näher auf diesen Punkt eingegangen.

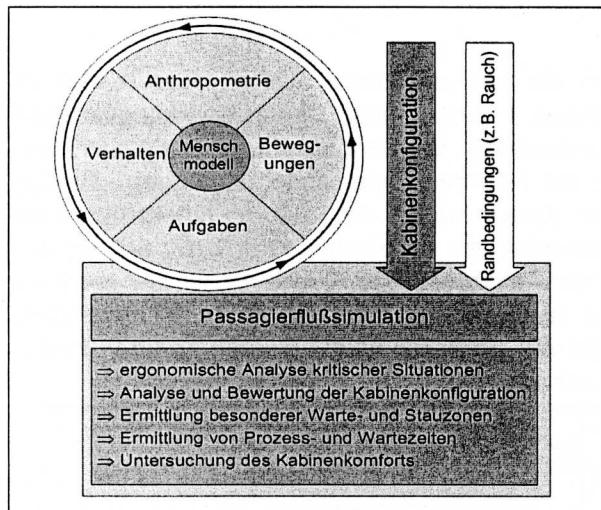


BILD 3: Darstellung des Grundkonzeptes

Die Zielsetzung des vorliegenden Konzeptes ist die Simulation von größeren Menschenmengen, d.h. Simulation von Kabinenprozessen auch in Megaliner-Kabinen und unkonventionellen Konfiguration wie BWB-Kabinen. Die Umsetzung erfolgt innerhalb einer C++-Umgebung. Als autonome Pfadfindungsstrategie wurde der sog. A*-Algorithmus gewählt und dieser hinsichtlich der Genauigkeit und Auflösung sowie der Berücksichtigung der dritten Dimension unter anderem mit Hilfe eines Potentialmodells erweitert.

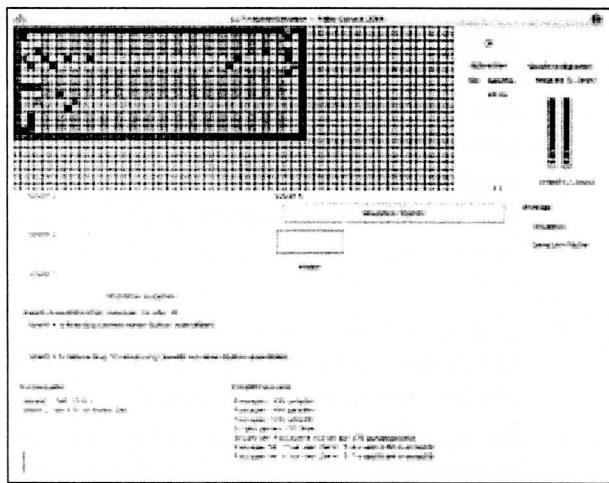


BILD 4: Darstellung des Demonstrators

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, erfolgt die Wegfindungsstrategie der Personen in einer 2D-Umgebung. Mit Hilfe eines eigenen Skelett- & Volumenmodells werden gegebenenfalls die genauen Bewegungen und Haltungen der Simulati-

onsobjekte berechnet und die Personen auf Kollisionen in ihren Bewegungen überprüft. Dies bedingt einerseits die Implementierung eines realen Bewegungs- und Kollisionsmodells auf Basis des physischen Menschmodells, als auch die Berücksichtigen von variablen Verhaltenseigenschaften der Menschmodelle, um innerhalb der Simulation eine Interaktion von Mensch-Mensch und Mensch-Kabine berücksichtigen zu können.

3.2. Modellbildung Simulationsobjekt „Mensch“

Im vorliegenden Konzept steht das Simulationsobjekt „Mensch“ im Mittelpunkt und es wird zwischen seinen physischen Eigenschaften und seinen verhaltensabhängigen (psychischen) Eigenschaften unterschieden. Während unter den physischen Eigenschaften im Wesentlichen die anthropometrischen und biomechanischen Eigenschaften zusammengefasst sind, wird unter den psychischen Eigenschaften unterschiedliche Charaktere und Verhaltensmuster verstanden.

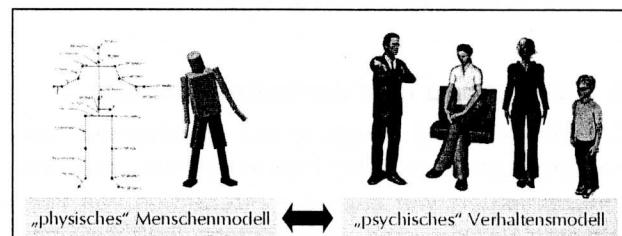


BILD 5: Unterscheidung physisches und psychisches Menschmodell

3.2.1. Physisches Menschmodell

Die anthropometrischen und biomechanischen Eigenschaften beinhalten hauptsächlich die äußerlichen Merkmale, wie Körpergrößen, Körperumfänge, Gewicht, Geschlecht und Körperproportion sowie die biologisch möglichen Bewegungsbereiche. Das physische Menschmodell wird durch ein eigenes Skelett mit 19 Gelenkpunkten und 29 verschiedenen Gelenkwinkeln (entspricht den Bewegungsrichtungen) analytisch und numerisch beschrieben.

Das Körpervolumen ist durch einen Aufbau aus Quadern und Zylindern realisiert worden. Dies ermöglicht eine unkomplizierte und ausreichend genaue Beschreibung der unterschiedlichen Menschen aus einer eigenen Datenbank bei akzeptab-lem Aufwand bzw. akzeptabler Belastung der Rechenleistung. Haltungen und Bewegungen können dadurch innerhalb der Simulation detail- getreu und realitätsnah abgebildet werden.

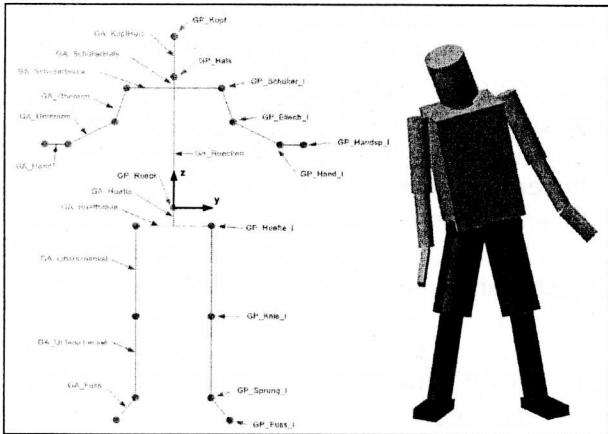


BILD 6: Definition des physischen Menschmodells

Neben der 2-dimensionalen Simulation der Bewegungspfade, kann mit Hilfe des Skelett- und Volumenmodells die dritte Dimension realitätsgetreu umgesetzt werden. Die verwendeten Volumen- und Skelettdaten stützen sich auf diverse anthropometrische Datenbanken und können alters- und geschlechtsspezifische sowie nationale Unterschiede abbilden [3, 4, 5].

3.2.2. Aufbau des Verhaltenmodells

Grundlage für die Ableitung von spezifischen Verhaltensmustern und der Interaktion der Personen untereinander, wie auch der Interaktion von Person und Kabine, sind verschiedene Einflussfaktoren auf das Verhalten des Menschen in der Flugzeugkabine.

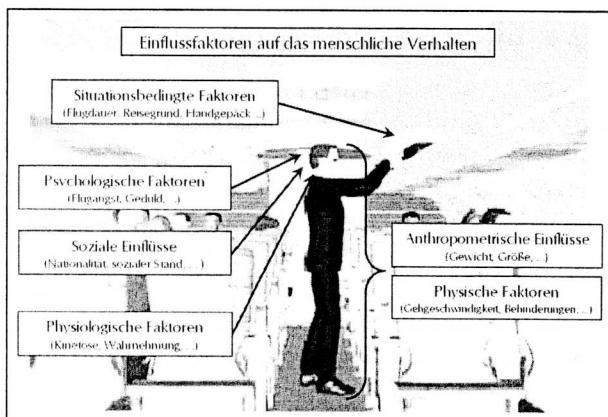


BILD 7: Einfluss auf das menschliche Verhalten in der Flugzeugkabine

Die Einflussfaktoren lassen sich folgendermaßen gruppieren:

- situationsbedingte Faktoren (z.B. Flugdauer, Reisegrund, Handgepäck,...)
- psychologische Faktoren (z.B. Flugangst, individuelle Geduld)
- soziale Einflüsse (z.B. Nationalität, ...)

- physiologische Faktoren (z.B. individuelle Wahrnehmung, Kinetose, ...)
- anthropometrische Einflüsse (Körpergröße, Körpergewicht, ...)
- physische Einflüsse (individuelle Gehgeschwindigkeit und Agilität, ...)

Um die Einflussfaktoren weiter klassifizieren zu können wurde eine Wechselwirkungsanalyse durchgeführt, um herauszufinden in welcher Weise die Faktoren voneinander abhängen. Zu diesem Zweck wurden die Faktoren hinsichtlich ihrer Aktivität (also treibenden Kraft bzw. Stärke) auf andere Faktoren untersucht. Es wurde ebenfalls die Passivität der einzelnen Faktoren betrachtet, also wie stark und häufig sie von anderen beeinflusst werden.

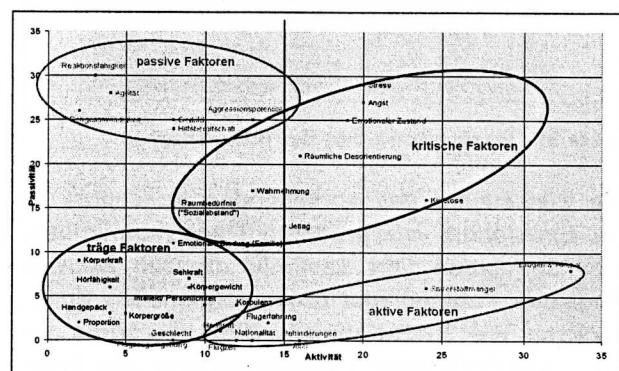


BILD 7: Wechselwirkungsanalyse der Einflussfaktoren

Aus der Wechselwirkungsanalyse konnten 4 Gruppen an unterschiedlichen Faktoren abgeleitet werden:

- *aktive Faktoren*, die andere Faktoren stark beeinflussen, von anderen nicht oder nur sehr gering beeinflusst werden (z.B. Alter, Flugerfahrung,...)
- *träge Faktoren* hingegen sind die Faktoren, die wenig auf andere Faktoren einwirken und sich wenig beeinflussen lassen
- *passive Faktoren* sind im Wesentlichen getriebene Faktoren, die stark beeinflusst werden und wenig selbst beeinflussen
- *kritischen Faktoren* haben einen großen Einfluss auf andere Faktoren und werden von anderen stark beeinflusst (z.B. Angst, Stress, ...)

Auf Basis unterschiedlicher Ausprägungen der Einflussfaktoren lassen sich spezifische Charaktergruppen ableiten und diesen in einem nächs-

ten Schritt unterschiedliche Verhaltensmuster zuordnen. Als Charaktergruppen wurden beispielsweise folgende Typen definiert, diese sind außerdem hinsichtlich des Geschlechts und Alters zu unterscheiden (Auszug):

- *Business-Passagier*: kennt die Abläufe an Board des Flugzeuges sehr gut, zielstrebig Platzsuche, besitzt viel Handgepäck,...
- *Billigflieger*: chaotisches Auftreten, in Partystimmung, eventuell alkoholisiert und in Gruppe unterwegs,...
- *normaler Tourist*: nicht mit den Abläufen an Board des Flugzeuges vertraut, wenig Handgepäck, hilfsbereit,...
- *Familie*: (Mutter mit 2 Kindern, viel Handgepäck, enge Familienbindung, aktive Kinder,...

Als Verhaltensmuster kann beispielsweise „gestresst“, „freundlich-zuvorkommend“, „unfreundlich-drängelnd“, „ängstlich“, „aktiv-unruhig“ oder „unbeholfen / ahnungslos“ verstanden werden.

Alle hier aufgeführten Charaktertypen werden sich je nach Verhaltensmuster in der Realität wie auch in der Simulation unterschiedlich verhalten, unterschiedlich bewegen und in einer Visualisierung unterschiedlich darstellen. Dies ist insbesondere von Bedeutung wenn die Simulation in einer virtuellen Umgebung visualisiert werden soll, bei der neben einer realistischen optischen Darstellung der Personen ebenfalls realistische Bewegungen wichtig sind [2,7].

Der Zustand bzw. die „inneren“ Eigenschaften eines simulierten Menschen geben nach einem Simulationslauf ebenfalls Aufschluss über die „Zufriedenheit“ bzw. das „Wohlbefinden“ der Person und sind damit ebenfalls wichtige Größen zur Komfortbewertung eines Kabinenprozesses und einer Kabinenkonfiguration.

3.3. Beschreibung der Kabinenprozesse

Eine realitätsnahe Simulation von Kabinenprozessen kann nur mit Hilfe genauer und gut strukturierter Daten über die zu simulierenden Prozesse durchgeführt werden. Bei den Kabinenvorgängen ist die Kenntnis über die möglichen Aufgaben, Ziele und Bewegungsabläufen sowie der einzelnen Handlungen und Haltungen der Crew und der Passagiere von Bedeutung.

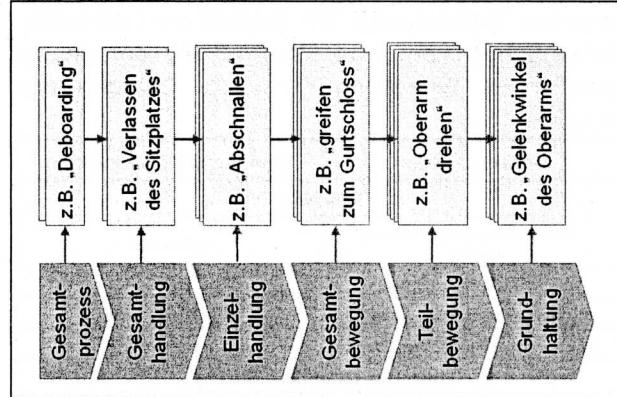


BILD 8: Parametrisierung der Kabinenprozesse

Weiterhin ist es notwendig die Dauer bestimmter Handlungen der Personen an Board von Flugzeugen zu kennen, um diese ebenfalls in der Simulation realistisch abbilden zu können. Dazu wurden verschiedene Kabinenprozesse (Boarding, Deboarding, Flugphase und auch die Evakuierung) aus Sicht der Crew und Passagiere analysiert und wie in Abbildung 8 ersichtlich, in einer Datenbank strukturiert sowie parametrisch beschrieben.

3.4. Realitätsnahe Bewegen und Verhalten

Wie bereits dargelegt sind anthropometrische Daten, ein detailliertes menschliches Skelett- und Körpermodell und eine parametrische Beschreibung der Kabinenprozesse die Basis für realistische Haltungen und Bewegungen.

Zuzüglich unterschiedlicher Passagier- und Kabinencrewcharaktere sowie situations- und charakterabhängiges Verhalten der Personenmodelle, lassen sich situations- und verhaltensabhängige Bewegungen und Entscheidungen für die Simulation und Visualisierung ableiten.

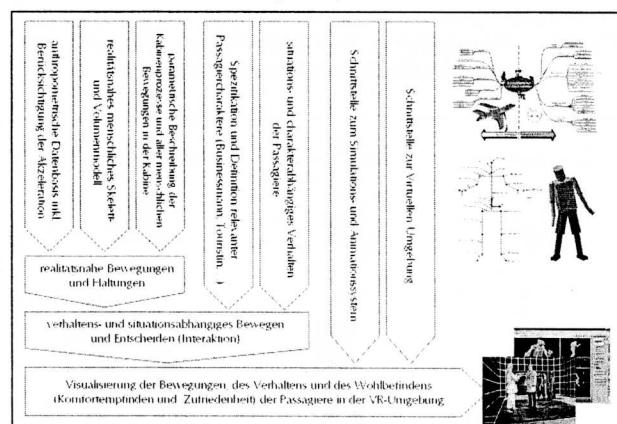


BILD 8: Aufbau für realistisches bewegen und Verhalten in einer Simulation und VR-Visualisierung

Folgende Tabelle zeigt am Beispiel von verschiedenen Schrittypen und Sitzarten die Zuordnung spezifischer Bewegung je nach Charaktertyp [8,9].

Bewegungsart	Eigenschaft / Bedeutung
Schrittyp	
Fuß und Fußspitze nach vorne zeigend	zielbewusst
nach innen zeigender Fuß	passiv
große Schritte / breiter Gang	bodenständig, sicher
kleinere Schritte / schmaler Gang	unsicher
Sitzarten (bzw. beim Sitzen)	
Oberkörper aufrecht	vital
Oberkörper eingesunken	passiv
Oberkörper zu Partner zeigend	interessiert
„tippen“ mit Fersen oder Fußspitzen vor und zurück rückend	unruhig und in Aufbruchstimmung
übereinander geschlagene Beine	erhöhte Spannung
...	...

Tabelle1: Auszug aus der Zuordnung zwischen spezifischer Bewegungsart und charakterlicher oder verhaltensspezifischen Eigenschaften

Damit ist ebenfalls die Grundlage für eine Animation und Visualisierung der Simulation, bzw. realistischer menschlicher Bewegungen innerhalb einer Flugzeugkabine in einer Virtual Reality Umgebung, gegeben.

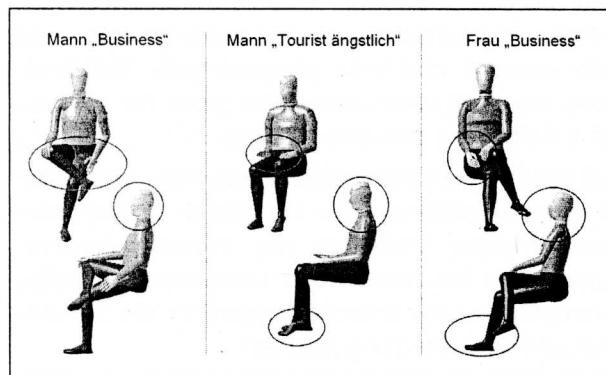


BILD 9: Darstellung der Handlung „Sitzen“ für unterschiedliche Charaktertypen

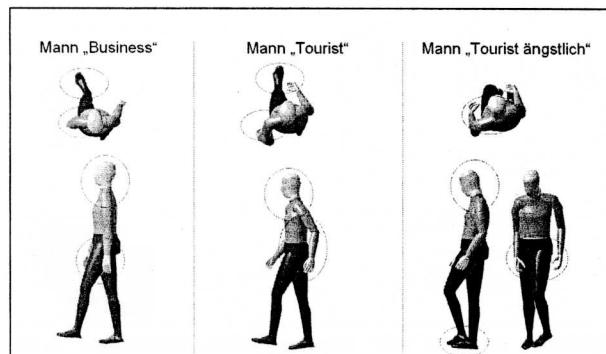


BILD 10: Darstellung der Handlung „Gehen“ für unterschiedliche Charaktertypen

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen am Beispiel „Sitzen“ und „Gehen“ unterschiedliche charakterliche Ausprägungen dieser Handlungen. Die Unterschiede in der Sitzhaltung liegen hauptsächlich im Kopf- und Schulterbereich. Insbesondere ängstliche und ungeduldige Menschen „spielen“ mit Ihren Händen, bzw. haben ein sehr unruhiges Verhalten. Beim „Gehen“ sind die Unterschiede ebenfalls deutlich an der Kopf- und Schulterhaltung sowie vor allem auch an der Fußhaltung zu erkennen.

3.5. Simulationsergebnisse

Der Simulationskern inklusive der Validierung ist Gegenstand der derzeitigen Arbeiten, daher können an dieser Stelle nur die geplanten Ergebnisse diskutiert werden. Direkt aus der Simulation ist es möglich besonders stark frequentierte Flächen und Bereiche während der Kabinenprozesse zu ermitteln. Insbesondere Warte- und Stauzonen von Passagieren zum Beispiel bei Boarding- und Deboarding-Vorgängen, sowie der Grad der Flächennutzung sind hier die interessanten Parameter. Weiterhin können Gesamtprozesszeiten wie auch bestimmte Wartezeiten einzelner Personen an signifikanten Stellen der Kabine ausgelesen werden. Über das psychische Verhaltensmodell können Aussagen bezüglich des Wohlbefindens und Komfortempfindens einzelner Personen oder aller Passagiere getroffen werden. Über die Simulation und den Menschenfluss lassen sich prozessbezogene Bewertungen hinsichtlich konfigurativer Änderungen in der Flugzeugkabine durchführen. Ähnliches gilt ebenfalls für die Bewertung von verschiedenen Prozessvarianten, wie beispielsweise unterschiedliche Boarding-Verfahren (nach Buchungsklasse, Sitzreihen- oder Zonen-Boarding usw.).

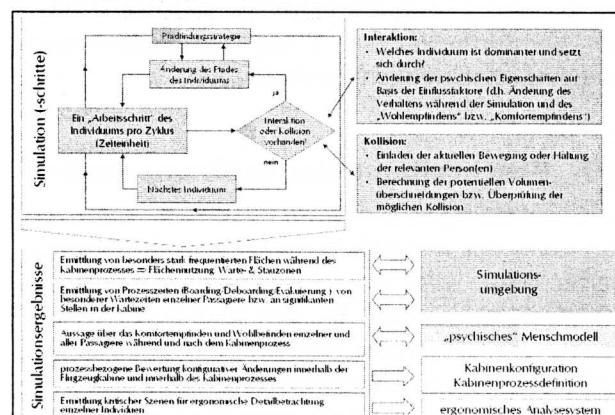


BILD 11: Konzept der Ergebniserzeugung aus der Simulation

Durch das detaillierte und realistische Skelettmödell des Menschmodells lassen sich ergonomisch kritische Situationen identifizieren, die anschließend in einem speziellen ergonomischen Analyse-System wie z.B. *Ramsis* oder *Safeworks* genau untersucht werden können.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Flugzeugkabine muss ein Mindestmaß an Komfort bieten, damit Passagiere (und auch Crew) Reisen von bis zu 18 Stunden angenehm und komfortabel verbringen können. Weiterhin gewinnt die Flugzeugkabine heutzutage immer mehr an Bedeutung, da sich Flugzeugbetreiber, aber in zunehmendem Maße auch Hersteller, durch das Design, die Aufteilung und Funktionen der Flugzeugkabine von Wettbewerbern differenzieren wollen und müssen. Nicht zuletzt müssen die Kabine sowie die Prozesse an Board von Flugzeugen die Sicherheit der Passagiere und der Crew gewährleisten. Neben den oben aufgeführten Gründen spielen ebenfalls ökonomische Gesichtspunkte bei der Entwicklung eine wichtige Rolle. Trotz stetig steigender Systemkomplexität, steigender Variantenvielfalt und steigenden Qualitätsansprüchen müssen Entwicklungskosten und größtmögliche Sicherheit in Einklang gebracht werden. Mit Hilfe der Simulation lassen sich bereits in den frühen Projektphasen breites und fundiertes Wissen über das zu entwickelnde Produkt gewinnen. So können durch Simulation des Menschen, von Menschenflüssen und Kabinenprozessen schon in der Konzeptphase sicherheitsrelevante Aspekte überprüft werden. Gerade in der Flugzeugkabine heißt dies, dass insbesondere der Mensch mit seinen biomechanischen Eigenschaften (Körpergrößen, Körpervolumen, Bewegungsmöglichkeiten, Bewegungsbereiche usw.) und sein Verhalten zu berücksichtigen ist.

Will man den Menschen und sein Verhalten in der Flugzeugkabine realitätsnah simulieren, sind eine Reihe von Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Neben den anthropometrischen Eigenschaften wie Körpergrößen und Bewegungsbereiche ist das vor allem auch das Abbilden des realistischen Verhaltens, um einerseits eine realistische Interaktion des Menschen mit seiner Umgebung zu ermöglichen und andererseits eine realistische Darstellung und realitätsnahe Bewegungen für die Visualisierung, gegebenenfalls auch in einer VR-Umgebung, zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden unterschiedliche Passagier- und Crewcharaktere abgeleitet („Business-Frau“, „Familie“, ...) und diesen unterschiedlichen Verhaltensmuster

zugewiesen. Dabei kann sich innerhalb der Menschenflusssimulation das Verhalten der einzelnen Person durchaus ändern. Eine realitätsnahe Simulation von Kabinenprozessen kann nur mit Hilfe genauer und gut strukturierter Daten über die zu simulierenden Prozesse durchgeführt werden. Daher wurde eine Datenbank erstellt, die alle Handlungen und Bewegungen in der Kabine parametrisch strukturiert beinhaltet.

Aus der Simulation und dem Personenverhaltensmodell lassen sich eine Vielzahl von Ergebnisse ableiten. Neben der Ermittlung von besonderen Warte- und Stauzonen der Kabine, bei beispielsweise dem Boarding-Vorgang, können der Grad der Flächennutzung (z.B. im Eingangsbereich) und verschiedene Prozesszeiten bestimmt werden. Dadurch können prozessbezogene Untersuchungen und Bewertungen der Kabine auf Basis des menschlichen Verhaltens und Wohlbefinden durchgeführt werden.

5. VERWENDETE LITERATUR:

- [1] Dr. K. Dieter Kricke;
Human Factors in Airbus Cabin Design
DGLR-Bericht 2001-06, Human Factors bei der Entwicklung von Fahrzeugen, 43. Fachausschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt e.V., 2001 Hamburg
- [2] Dr. Anna Bauch;
Die virtuelle Flugzeugevakuierungsanalyse
Dissertation am Lehrstuhl für Luftfahrttechnik der Technischen Universität München, 2003
- [3] verschiedene Autoren;
Handbuch der Ergonomie Band 1 - Theoretische Grundlagen der Ergonomie
Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, Koblenz 1989
- [4] Stephen Pheasant;
BodySpace - Anthropometry, Ergonomics, and the Design of Work
CRC Press, Boca Raton - Florida, 2000
- [5] John Croney;
Anthropometrics for Designers
B.T. Batsford Ltd. London 1971
- [6] Günter Spur, Frank-Lothar Krause;
Das virtuelle Produkt - Management der CAD-Technik
Carl Hanser Verlag München Wien, 1997
- [7] William R. Sherman, Alan B. Craig;
Understanding Virtual Reality - Interface, Application and Design
Morgan Kaufmann Publishers, 2003
- [8] Julius Fast;
Körpersprache
Rowohlt Verlag, 1995
- [9] Horst Rückle;
Körpersprache - verstehen und deuten
Verlag Falken Bücherei, 1991