

LUFO III

KATO TP 04

Optimierung und Modellierung des Flugzeugkabinenkomforts

Psychophysikalische Untersuchungen zum Kom- fort von Flugzeugkabinen

Abschlussbericht

15. Februar 2007

Laufzeit:	01. Jul 2003 bis 31. Dezember 2006
Projektleitung:	Dr. Reinhard Weber
Projektteam	Dr. Michael A. Bellmann Dipl. Phys. Hans Hansen Dipl. Psych Sylke Hallmann Dipl. Psych. Julia Bastian Cand. Dipl. Psych Tim Oesterlau Cand. Dipl. Psych Stephan Wolter

*AKUSTIK / Institut V Physik
Carl von Ossietzky Str. 9-11
26111 Oldenburg*

Kennzeichen



20K0302L

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Abkürzungsverzeichnis	3
2 Allgemeine Projektbeschreibung.....	4
2.1 Aufgabenstellung	4
2.2 Voraussetzungen.....	5
2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
2.3.1 Geplanter Projektverlauf	5
2.3.2 Projektverlauf.....	6
2.4 Stand der Wissenschaft und Technik, sowie bisherige Arbeiten	9
2.4.1 Stand der Wissenschaft und Technik	9
2.4.2 Bisherige projektrelevante Arbeiten der Arbeitsgruppe Akustik.....	9
2.5 Kooperation mit Partnern.....	9
3 Ergebnisse und Verwertung der Ergebnisse.....	11
3.1 Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse	11
3.2 Nutzen und Verwertbarkeit der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse.....	15
3.3 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse, die während des Forschungsvorhabens von dritter Stelle erzielt wurden	15
3.4 Veröffentlichungen und Vorhabensberichte.....	16
4 Literaturverzeichnis	17

1 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACS	Airbus Cabin Simulator
AP	Arbeitspaket
IFE	In-flight Entertainment System
KATO	Innovative Kabinentechnologie
LuFO III	Luftfahrtforschungsprogramm III
IDEA PACI	IDentification of an Aircraft PAssenger Com- fort Index
HEACE	Health effects in aircraft cabin environment
FACE	Friendly Aircraft Cabin Environment
HRM	Human-Response Model
FEM	Finite-Element-Modell
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
VOC	Volatile Organic Compounds (dt. flüchtige organische Verbindungen)
SVOC	Semivolatile Organic Compounds (dt. semi-flüchtige organische Verbindungen)
OBELICS	Objective evaluation of interior car sound

2 ALLGEMEINE PROJEKTDESCHEIBUNG

2.1 Aufgabenstellung

Gesamtziel des Vorhabens

Das Ziel des Verbundvorhabens KATO TP04, in dem die Universität Oldenburg Verbundpartner ist, besteht in der Erstellung eines Expertensystems „Kabinenkomfortmodellierung“, das als ein Entwicklungswerkzeug bei der Kabinengestaltung und –auslegung eingesetzt werden soll.

Bisher ist es im Flugzeugkabinenbereich noch nicht durchgängig üblich, Kabinenkomfortparameter als Grundlage zur Entwicklung neuer Systeme heranzuziehen.

Die Arbeiten der Universität Oldenburg stellen einen wesentlichen Beitrag dar, um die Integration von Komfortaspekten in die Systementwicklung zu ermöglichen.

Der Schwerpunkt der Universität Oldenburg liegt in der Messung des Gesamtkomforts und seiner Konstituenten in der Flugzeugkabine als Mensch-Maschine-Schnittstelle mit psycho-physikalischen und psychologischen Methoden. Der Gesamtkomfort wird in Abhängigkeit von komfortrelevanten Umgebungsfaktoren, z.B. Schall und Vibration, Lufttemperatur, Sitzkenngrößen, bestimmt. Dieser ist das Ergebnis einer zusammenfassenden (integrierenden) Bewertung der Teilkomfortaspekte in der Kabine wie Sitzkomfort, thermische Behaglichkeit, Qualität der Geräuschumgebung, usw. durch den Passagier.

Die Messung des Passagier-Gesamtkomforts bei verschiedenen Einstellungen der komfortrelevanten Umgebungsfaktoren sind die Grundlage zur Erstellung eines integralen Kabinenkomfortmodells. Mit Hilfe des Komfortmodells können dann Sensitivitäts- und Kausalanalysen durchgeführt werden. Im Forschungsverbund wird die Modellierung schwerpunktmäßig die Aufgabe von EADS-CRC aus Hamburg sein.

Die Experimente zu den Komfortmessungen sollen in bodengebundenen Mock-Ups (Simulatoren) durchgeführt, da die Variation von Umgebungsfaktoren während normaler Reiseflüge im Flugzeug gar nicht oder wenn, nur in engen Grenzen möglich ist. Die Voraussetzung für die Modellierung ist jedoch die Kenntnis des sich beim Passagier einstellenden Gesamtkomforts bei hinreichend großer Variation der einzelnen Umgebungsfaktoren. Der Gesamtkomfort wird damit als eine subjektive Variable erfasst, die sich bei den unterschiedlichen, objektiv mess- und beschreibbaren Zuständen der Mensch-Maschine-Schnittstelle Flugzeugkabine realisiert.

Das resultierende Kabinenkomfortmodell ist ein Beitrag zu den Entwicklungswerkzeugen eines Expertensystems, mit dessen Hilfe der Entwurf künftiger Flugzeuge und das Re-Engineering vorhandener Systeme effizienter und kundengerechter gestaltet werden kann in Bezug auf den Flugkomfort (bzw. Fahrkomfort) von Passagieren, um so Sicherheit und Akzeptanz des Transportmittels zu erhöhen.

Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens

Die Mehrzahl der Untersuchungen über die Beeinflussung des Passagierkomforts durch die spezifische Kabinenumgebung im Flugzeug befassen sich isoliert mit der Wirkung einzelner Umgebungsfaktoren bzw. Teilkomfortaspekten, wie Schall und Vibration, Luftklima und Luftreinheit oder Sitzkenngrößen untersucht worden. Auch in der Arbeit der Luftfahrtindustrie werden in den an der Entwicklung der Flugzeugkabine beteiligten Abteilungen, wenn überhaupt, der Einfluss des eigenen Beitrags auf den Passagierkomfort berücksichtigt. Für die menschengerechte Planung des Flugzeuginnenraums, der während des Fluges für den Passagier die Mensch-Maschine-

Schnittstelle darstellt, ist die kombinierte Gesamtwirkung der unterschiedlichen komfortrelevanten Größen, sowie Trade-offs zwischen ihnen von entscheidender planerischer Bedeutung. Deshalb war ein wesentliches Ziel dieses Verbundvorhabens die Messung und Modellierung der Kombinationswirkung der komfortrelevanten Umgebungsfaktoren, um eine Basis für ein umfassendes Gesamtkomfort-Modell zu schaffen, die das gesamte Bezugssystem für den Passagier berücksichtigt.

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erreichung dieses Zieles ist die Identifikation geeigneter psychologischer Messgrößen zur Erfassung des (integralen) Passagierkomforts und ihrer adäquaten Operationalisierung. In vielen Untersuchungen wird dem Aspekt der psychologisch zu determinierenden Komposita des Passagierkomforts keine, wenig oder wenn überhaupt, eine sehr oberflächliche Beachtung geschenkt. Diese mangelnde Konzeptualisierung einschließlich unzureichend abgesicherten Untersuchungsinstrumentariums kann ein Grund für unzureichende Komfortmessungen und –modellierungen sein.

2.2 Voraussetzungen

Zur Erreichung der im Kapitel 2.1 dargestellten Ziele sind bestimmte Voraussetzungen zu schaffen und definierte Zwischenschritte zu bewältigen. Im einzelnen sind das folgende Punkte:

- Ein wesentliches Zwischenziel ist die Identifizierung, Zusammenstellung und Entwicklung geeigneter Werkzeug zur Messung des Gesamtkomforts der Passagiere. Darunter sind nicht nur Versuchsettings zur Erfassung der (objektiven) physikalischen Umgebungsparameter während realer und/oder simulierter Flüge gemeint, sondern auch psychologische Untersuchungsmethoden, wie z.B. Fragebögen, zu entwickeln, die die subjektiven Aspekte des Passagierkomforts reproduzierbar abbilden können. Mit diesen Werkzeugen wird es möglich, die Komfortwirkung verschiedener Planungskonzepte zu messen und zu charakterisieren.
- Bereitstellung eines funktionstüchtigen bodengebundenen full-flight Simulators (mock-ups) zur Durchführung von simulierten Flügen unter möglichst realistischen Umgebungsbedingungen. Dieser Simulator muss ebenfalls in der Lage sein identifizierte komfortrelevante Umgebungsfaktoren bzw. -parameter während der Messung systematisch gegeneinander zu variieren.
- Zur Validation eines zu entwickelnden Komfortmodells sind Messungen während realer Flüge sinnvoll. Es ist der Nachweis nötig, dass sich die in bodengebundenen Kabinensimulatoren erhobenen Ergebnisse auf tatsächliche (reale) Flugsituationen übertragen lassen.

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

2.3.1 Geplanter Projektverlauf

In der Vorhabensbeschreibung der Universität Oldenburg [7] ist eine ausführliche Aufgabenbeschreibung seitens der Universität dargestellt. In diesem Kapitel wird lediglich eine kurze Darstellung der Planung und des geplanten Ablaufes in Form eines Balkendiagramms gegeben, siehe Abbildung 1.

realitätsgetreu abgebildet werden im ACS in Hamburg [5]. Es wurde während der Projektlaufzeit nach Alternativen, d.h. anderen Simulatoren, gesucht, jedoch ist kein Simulator in Europa während der Projektlaufzeit identifiziert worden, der annähernd alle notwendigen Umgebungsfaktoren realitätsnah simulieren konnte. Zusätzlich fehlte der Nachweis der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus simulierten Flügen zur Komfortbewertung auf reale Flugsituationen.

Die o. g. Gründe führten zur Entscheidung aller Projektbeteiligten den ursprünglich geplanten Projektverlauf zu ändern und stattdessen die Schwerpunkte des Projektes, neben den geplanten Arbeitspaketen AP1 und AP2, siehe Abbildung 1, auf praktische Erprobungen des entwickelten physikalischen (Mess-) Konzeptes und der entwickelten psychologischen Untersuchungsmethoden in alternativen Versuchen zu legen. Zusätzlich sind Auswertungen und weiterführende statistische Analysen von vorhandenen bzw. in ähnlichen Forschungsvorhaben erhobene Messdaten bzgl. eines Gesamtkomfortmodells durchgeführt worden. Im Anschluss ist auf der Grundlage der durchgeführten Analysen der vorhandenen Messdaten, sowie aus theoretischen Grundlagen Verfeinerungen der Versuchsmethoden und der Auswertungskonzepte erarbeitet worden.

Im Folgenden sind die durchgeführten Projektschritte in Tabelle 1 zusammengestellt. Eine eingehende Darstellung der wesentlichen wissenschaftlich-technischen Ergebnisse wird in Kapitel 3.1 gegeben.

Tabelle 1: Balkendiagramm des durchgeführten Projektverlaufs.

		2003	2004		2005		2006	
		Jul-Dez	Jan-Jun	Jul-Dez	Jan-Jun	Jul-Dez	Jan-Jun	Jul-Dez
AP1: Anforderungen und konzeptionelle Voraussetzungen		Meilenstein Nr.1 Januar 2004 [1]						
	Lufthansa Bodenserviceübung in einer A340-600	■						
	Entwicklung eines psychologischen Konzepts des Gesamtkomforts	■						
	Entwicklung eines Konzepts für ein Komfort-UnterschiedstesterInnen Team zur Komfortbewertung	■						
	Zusammenstellung der komfortrelevanten Wirkungen der Umgebungsfaktoren	■						
	Übersicht über bisherige Ansätze und Methoden	■						
	Erstellung eines physikalisch-technischen Messkonzepts der Umgebungsfaktoren	■						
	Aufstellung der komfortrelevanten Wirkungsbereiche	■						
AP2: Methodenentwicklung		Meilenstein Nr.2 Juli 2004 [2]						
	Komfort-UnterschiedstesterInnen Schulung		■					
	Entwicklung von Versuchsplänen, -abläufen, Fragebögen und Passagierbeobachtungsbögen		■					
	Realisierung des Messsystems zur Erfassung der passagierbezogenen Belastung durch die Umgebungsfaktoren		■					
	Konzept zur Messung der räumlichen Verteilung der Umgebungsfaktoren in einem Simulator		■					
	Erstellung eines Auswertungskonzeptes zur Berechnung, die die einzelnen Umgebungsfaktoren charakterisieren und Eingangsgrößen für das Gesamtkomfortmodell darstellen		■					
AP2: Methodenentwicklung und Pre-Tests		Meilenstein Nr.3 Januar 2005 [3]						
	Pre-Test: erprobung des entwickelten Versuchssettings während realer Flüge			■				
AP2: Pre-Tests		Meilenstein Nr.4 Juli 2005 [4]						
	Pre-Test: Beschreibung von zwei Mittelstreckenflügen				■			
	Vergleich verschiedener Flugbedingungen während der Pre-Tests				■			
AP2: Pre-Tests und Weiterführende Analysen aller vorhandenen Messdaten		Meilenstein Nr.5 Januar 2006 [5]						
	Physikalische Messungen der Umgebungsfaktoren während eines „leeren“Transferfluges					■		
	Multiple Regressionsanalysen					■		
	Faktorstruktur der Kundenzufriedenheit					■		
	Direkt erfragte Wichtigkeit					■		
AP2: Pre-Tests und Methodenverfeinerung		Meilenstein Nr.6 Januar 2007 [6]						
	Physikalische Messungen der Umgebungsfaktoren während Schlaftests im ACS in Hamburg						■	■
	Cross-Modality-Matching: Kurven gleicher Wahrnehmung von Schall- und Vibrationssignalen						■	■
	Fragebogen: Potenzial der entwickelten psychologischen Arbeitswerkzeuges Fragebogen						■	■

2.4 Stand der Wissenschaft und Technik, sowie bisherige Arbeiten

2.4.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Quantitative Zusammenhänge zwischen dem Komfortempfinden und den physikalischen Umgebungsparametern sind für die Flugzeugkabine nicht hinreichend bekannt. Ebenfalls unzureichend bekannt sind moderierenden Faktoren der persönlichen Disposition des Passagiers. Teilaspekte sind in anderen Umweltbereichen erforscht (z.B. Wohnraumklima, Fahrkomfort im Kfz), jedoch noch nicht ohne weiteres auf ein flugzeugbezogenes Mensch-Modell (engl. Human Response Model – HRM) zu übertragen.

Im abgeschlossenen EU-Projekt IDEA PACI wurden Zusammenhänge zwischen vibro-akustischen Einwirkungen in der Flugzeugkabine im Simulator bzw. Mock-up und der Komfortempfindung untersucht und durch ein HRM auf der Basis eines neuronalen Netzes entwickelt. Der Parameterbereich war beschränkt und die Wirklichkeitsnähe der Simulation nicht quantifiziert. Im Rahmen des EU-Projektes HEACE ist eine sehr umfassende Bibliografie erarbeitet worden, auf die für das beantragte Vorhaben von der Antragstellerin zurückgegriffen werden kann. Das Ergebnis zeigt, dass es bezogen auf den Gesamtpassagierkomfort in der Flugzeugkabine noch keine ausreichend abgesicherten Modelle gibt sondern lediglich Ansätze für Teilkomfortaspekte, wie z.B. Umgebungsklima.

2.4.2 Bisherige projektrelevante Arbeiten der Arbeitsgruppe Akustik

Die Arbeitsgruppe Akustik verfügt über langjährige Erfahrung in der Psychophysik, insbesondere in der Messung subjektiver Empfindungsgrößen als Folge vibro-akustischer Anregungen und der Modellierung subjektiver Empfindungen mit dem Ziel der Objektivierung. In diesem Zusammenhang liegt große Expertise bei der Messung, Signalverarbeitung und Auswertung vibro-akustischer Daten vor.

Die Arbeitsgruppe führte mehrjährige Forschungsprojekte zum vibro-akustischen Komfort in der Kraftfahrzeugkabine mit nationalen und internationalen Automobilherstellern durch, sowie Forschungsprojekte zur Wirkung von Reifengeräuschen und deren Modellierung und wahrnehmungsbezogene Parametrisierung mit nationalen und internationalen Reifenherstellern. Die erzielten Ergebnisse dienen zur Berechnung der subjektiven Wirkung aus den objektiven Spektren, die beim Reifendesign als Output etwa von Finite-Element-Modellen (FEM) entstehen, und deren subjektive Qualität zu quantifizieren und zu beurteilen ist.

Im abgeschlossenen EU-Projekt OBELICS hat die Arbeitsgruppe als Partner spezielle Polaritätsprofile zur Erfassung der multidimensionalen Perzeption von Geräuschen im Fahrzeuginnern entwickelt und umfangreiche Messungen zum Vergleich verschiedener Automobilinnengeräusche durchgeführt mit dem Ziel, die geräuschqualitäts-bestimmenden Merkmale neben der Lautstärke der Geräusche zu bestimmen.

Im EU-Projekt IDEA PACI wurde von der Antragstellerin Fragebogenentwurf und -auswertung sowie Messung und Auswertung der Vibrations- und Akustiksignale übernommen.

2.5 Kooperation mit Partnern

Das Vorhaben ist bis in die aufgeführten Arbeitspakete hinein mit dem federführenden Antragsteller Airbus Deutschland abgestimmt. Eine Vielzahl von Pre-Tests, z.B.

„Physikalische Messungen der Umgebungsfaktoren während Schlaffests im ACS in Hamburg“, sind in Absprache und Zusammenarbeit mit Airbus durchgeführt worden. Bei der Entwicklung der psychologischen Untersuchungsmethode „Fragebogen“ wurde zum Zweck der Vereinheitlichung und Verfeinerung dieses Instruments eng mit der EADS-CRC aus Hamburg kooperiert. Weitere Laborexperimente und Pre-Tests wurden eigenständig von der Universität Oldenburg durchgeführt. Es haben regelmäßige Projektbesprechungen und -abstimmungen bei Airbus in Hamburg gegeben. Die akzeptable räumliche Nähe erleichterte auch die persönliche Zusammenarbeit und die zeitweise Tätigkeit des technisch-wissenschaftlichen Personals vor Ort bei Airbus.

3 ERGEBNISSE UND VERWERTUNG DER ERGEBNISSE

3.1 Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die wesentlichen wissenschaftlich-technischen und andere wichtige Ergebnisse, die während der Projektlaufzeit erarbeitet worden sind, kurz zusammengefasst. Die einzelnen Ergebnisse sind in ausführlicher Form in den Meilensteinen Nr.1 bis Nr6 der Universität Oldenburg nachzuschlagen. Im Folgenden sind die unterstrichenen Kurztitel in Anlehnung an die Bezeichnung der einzelnen Arbeitspakete und –schritte aus Abbildung 1 genommen worden.

Passagierbefragung während einer Lufthansa-Bodenserviceübung: Die eingesetzten Passagier-Fragebögen (schriftliche Befragung von ca. 250 Passagieren) der Bodenserviceübung von Lufthansa Deutschland in Frankfurt / Main vom 08. September 2003 in einem Airbus A340-600 wurden hinsichtlich komfortrelevanter Einflüsse von Umgebungsfaktoren (z.B. physikalische Faktoren wie Umgebungsklima) sowie Serviceleistungen der FlugbegleiterInnen auf das Komfortempfinden der Passagiere ausgewertet.

Entwicklung eines Konzepts und die Durchführung der Schulung für ein Komfort-UnterschiedstesterInnen Team zur Komfortbewertung: In einem ersten Schritt wurden Ziele des Konzeptes, notwendige Voraussetzungen von Seiten der zukünftigen Testerinnen sowie ein Konzept für die Ausbildung der Komfort-UnterschiedstesterInnen entwickelt. Es gab ein zweistufiges Bewerbungs- und Schulungsverfahren. In einem ersten Schritt wurden InteressentInnen für die Komfort-UnterschiedstesterInnen-Ausbildung gesucht und aus diesem Pool auf der Grundlage einer schriftlichen Befragung - nach bestimmten, vorher festgelegten Kriterien - ca. 28 Kandidaten ausgewählt und zur Schulung eingeladen. Nach der Durchführung und Auswertung aller vorliegenden Ergebnisse wurden 15 geeignete Komfort-Unterschiedstester identifiziert. Diese geschulten Tester zeichnen sich durch eine hoch reliables Antwortverhalten in ähnlichen bzw. gleichen Umgebungsbedingungen aus und sind ein ideales Instrument um unterschiedliche Umgebungsbedingungen, z.B. unterschiedliche Kabinenausstattungen, zu evaluieren.

Entwicklung eines psychologischen Konzepts des Gesamtkomforts: Es wurde eine Übersicht über Definitions-Ansätze zum Begriff „Gesamtkomfort“ erstellt, die auf einschlägigen Veröffentlichungen zu den Bereichen „Komfort“, „Zufriedenheit“ und „Well-being“, meistens mit Schwerpunkt auf die Flugzeugkabine, basiert. Auf der Grundlage dieser Übersicht wird entschieden, welches Konzept einer „Komfort-Messgröße“ für das vorliegende Projekt sinnvoll ist und ein entsprechender Operationalisierungsvorschlag für die Befragungen vorgestellt.

Erstellung eines physikalisch-technischen Messkonzeptes der Umgebungsfaktoren: Zunächst einmal sind (mögliche) komfortrelevante Umgebungsfaktoren, wie Umgebungsklima, Schall, Vibrationen, Beleuchtung, etc. aus Literaturstudien und vorangegangenen Projekten mit Beteiligung der Universität Oldenburg zusammengetragen worden. Des Weiteren ist für jeden Faktor ein physikalisch-technisches Messkonzept inklusive Messpositionen, Sensorspezifikationen, usw. nach bestehenden nationalen und internationalen Normen und Standards für die Anwendung in einem bodengebundenen Simulator und für reale Flüge (in-flight) erstellt worden. Messerfahrungen von Experten, sowie Ergebnisse bzgl. der Messtechnik aus vorangegangenen Projek-

ten sind ebenfalls mit berücksichtigt worden. Zusätzlich sind neben den Auswertestrategien die psychophysikalische Parameter bzw. Kenngrößen, die aus den physikalischen Messwerten der Umgebungsfaktoren ermittelt werden sollen, bezogen auf komfortgebundene Fragestellungen, zusammengestellt und ihre Anwendbarkeit kurz diskutiert worden.

Zusammenstellung der komfortrelevanten Wirkungen der Umgebungsfaktoren, sowie Aufstellung der komfortrelevanten Wirkungsbereiche: Die relevante Literatur wurde im Hinblick auf die komfortrelevanten psycho-physikalischen, physiologischen und medizinischen Wirkungen von Umgebungsfaktoren analysiert. Dabei wurden auch deren Wechselwirkungen, Gewichtungen, Einwirkdauern und wirkungsbezogenen Abstufungen für die geplanten Versuche in die Analyse einbezogen, welche in Form einer tabellarischen Übersicht dargestellt ist.

Schließlich wurde eine Matrix aus den o.g. Umgebungsfaktoren mit einer Aufstellung der komfortrelevanten Wirkungsbereiche jedes einzelnen Faktors erstellt. Aus dieser Matrix ist ein Vorschlag für ein Versuchsdesign für die anstehenden Pre-Tests in einem bodengebundenen Simulator erstellt worden. Dabei werden zunächst einmal wenige Faktoren (klimatische Parameter, Schall und Vibrationen) systematisch gegeneinander variiert.

Entwicklung von Versuchsplänen, -abläufen, Fragebögen und Passagierbeobachtungsbögen: Fragebögen für Untersuchungen im Simulator und während realer Flüge sind erstellt worden, die das psychologischen Konzepts des Gesamtkomforts aus AP1 hinreichend operationalisiert haben. Zusätzlich wurden Versuchspläne über zu untersuchende Parameterkonfigurationen und Versuchsabläufe für den Simulator- und für In-Flight Untersuchungen entwickelt.

Realisierung des Messsystems zur Erfassung der passagierbezogenen Belastung durch die Umgebungsfaktoren: Auf der Grundlage des in AP1 erarbeiteten physikalisch-technischen Messkonzeptes der Umgebungsfaktoren wurde die Realisierung durch Messgeräte und Sensorik, sowie Messabläufe entwickelt. Dabei wurde die Umsetzung des physikalisch-technischen Messkonzeptes sowohl für den Einsatz in einem Simulator (z.B. ACS in Finkenwerder) als auch für den Einsatz während realer Flüge (In-Flight Messungen) ausgearbeitet und getestet.

Konzept zur Messung der räumlichen Verteilung der Umgebungsfaktoren im Airbus Cabin Simulator (ACS): Ein Konzept zur Vermessung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Umgebungsfaktoren (z.B. Schallfeld, Temperaturfeld) in dem für erste Untersuchungen zu verwendende ACS ist erarbeitet worden. Damit sind nicht nur die Messgeräte und Sensorik gemeint, sondern auch die Messabläufe.

Erstellung eines Auswertungskonzeptes zur Berechnung der Parameter, die die einzelnen Umweltfaktoren charakterisieren und Eingangsgrößen für das Gesamtkomfortmodell sind: Während Untersuchungen in einem Simulator (z.B. ACS) und realer Flüge werden Messungen der vorherrschenden Umgebungsfaktoren nach dem o.g. physikalisch-technischen Messkonzept durchgeführt. Für die spätere Auswertung dieser Daten ist ein Auswertungskonzept zur Berechnung von Parametern erarbeitet worden, die die einzelnen Umgebungsfaktoren charakterisieren und eine adäquate personenbezogene Belastung der Probanden durch die Umgebungsparameter enthalten. Die nach diesem Auswertungskonzept berechneten Parameter sind Kandidaten für Eingangsgrößen des Gesamtkomfortmodells.

Pre-Test: Erprobung des bisherigen Versuchssettings und Erstellung einer Datenbasis während:

a) realer Kurzstreckenflüge: Die Universität Oldenburg hat im August 2004 eine Messkampagne, basierend auf den in Meilenstein Nr. 1 und Nr.2 erstellten Versuchssettings, während zweier innereuropäischen Linienflüge (Hin- und Rückflug) von jeweils 1,5 Stunden Dauer durchgeführt. An dieser Messkampagne nahmen 15 Komfort-UnterschiedstesterInnen aus Oldenburg teil, die während des Hin- und Rückfluges zu jeweils drei unterschiedlichen Zeitpunkten die Kabinenumgebung mithilfe von Fragebogen beurteilten. Zusätzlich zu den Befragungen sind ebenfalls Beobachtungen mit vorbereiteten Beobachtungsbögen durchgeführt worden, sowie die Umgebungsfaktoren Schall, Umgebungsklima (Druck, Temperatur, rel. Luftfeuchte) und Luftqualität (CO und CO₂ sowie SVOC und VOC Gehalt der Luft) messtechnisch erfasst worden. Die Planung, Durchführung und Auswertung der Beobachtungsbögen und Fragebögen, sowie die physikalischen Messungen der Umgebungsfaktoren sind im Meilenstein Nr.3 detailliert dargestellt. Es sind ebenfalls mit Hilfe von Regressions- und Korrelationsanalysen die subjektiven (psychologisch erhobenen) Daten mit den objektiv (physikalisch gemessenen) Parametern in Beziehung gesetzt worden.

b) realer Mittelstreckenflüge: Die Universität Oldenburg hat im September / Oktober 2004 eine zweite Testflug-Messkampagne, basierend auf den in den Meilensteinen Nr. 1 und Nr. 2 erstellten Versuchssettings, während zweier Mittelstreckenflüge (Linienflüge: Hinflug von 6 Stunden 40 Minuten und Rückflug von 5 Stunden 10 Minuten) Dauer durchgeführt. An dieser Messkampagne nahmen 20 Personen aus Oldenburg teil, die während des Hin- und Rückfluges zu jeweils vier unterschiedlichen Zeitpunkten (jeweils 1x Fragebogen vor dem Flug und 3x Fragebögen während des Fluges) die Kabinenumgebung mithilfe von Fragebögen beurteilten. Zusätzlich zu den Befragungen sind ebenfalls Beobachtungen von Mitgliedern des Versuchsleitungsteams mit vorbereiteten Beobachtungsbögen durchgeführt worden, sowie die Umgebungsfaktoren Schall und Umgebungsklima (Druck, Temperatur, rel. Luftfeuchte) messtechnisch erfasst worden. Ziel dieses zweiten Testfluges ist die Überprüfung des psychologischen Messinstruments Fragebogen mit dem entwickelten Auswertungskonzept.

c) eines „passagierlosen“ Transferfluges (nur physikalisches Messsetting): Am 08. August 2005 ist eine weitere Messkampagne während eines realen Fluges unter Leitung der Universität Oldenburg durchgeführt worden. Bei dem Flug handelte es sich um einen Transferflug in einer A320-232 innerhalb Deutschlands bei dem lediglich das Kabinen- und Cockpit-Personal, sowie vier Mitglieder der Universität Oldenburg – AG Akustik an Bord waren. Im Vordergrund dieser Messkampagne stand die Überprüfung und Verfeinerung des physikalischen Versuchssettings aus dem Meilenstein Nr. 1 und 2. Da die Kabine nicht mit Passagieren gefüllt war, wurde die Erlaubnis von der Fluglinie erteilt an sehr vielen Positionen innerhalb der Kabine und im Cockpit während des gesamten Fluges, d.h. von Taxiing bis Parking Position, zu messen. Auf der Basis der Messungen lassen sich sowohl räumliche als auch zeitliche Verteilungen der einzelnen gemessenen Umgebungsparameter bestimmen. Es ist in dem Meilenstein Nr.4 die Planung, Durchführung und anschließende Auswertung der physikalischen Messungen einzelner Umgebungsfaktoren dargestellt.

d) während Schlaftests im ACS (Simulator) in Hamburg: Im Juni und Juli 2006 sind in Zusammenarbeit mit der DLR Köln und Airbus Deutschland im Aircraft Cabin Simulator (ACS) sogenannte Schlaftests durchgeführt worden. Ziel des Versuchs war es den Einfluss von tieffrequenten Flugzeugbewegungen, kurz Motion, auf den Schlaf von Personen in Rest Compartments (deutsch Schlafsegmente) zu untersuchen. Die Universität Oldenburg hatte die Aufgabe während der Versuche, die nachts zwischen 23.00h und 7.00h durchgeführt worden sind, komfortrelevante Umgebungsfaktoren, wie z.B. Lufttemperatur und Schall, in den einzelnen Compartments zu messen und überwachen. Im Meilenstein Nr.5 sind die Vorbereitung, Durchführung und anschlie-

ßende Auswertung der Messungen komfortrelevanter Umgebungsfaktoren dargestellt und diskutiert.

Analyse der vorhandenen Datenbasis:

a) Vergleich verschiedener Flugbedingungen: Die Universität Oldenburg hat im laufenden Projekt drei unterschiedliche Pre-Tests durchgeführt, in denen die entwickelten Untersuchungsmethoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit geprüft worden sind. Auf der Basis der Auswertungen der einzelnen Pre-Tests sind die Untersuchungsmethoden weiterentwickelt und verfeinert worden. Die Ergebnisse der Auswertungen aller drei Pre-Tests, die ebenfalls mit unterschiedlichen Versuchspersonengruppen durchgeführt worden sind, wurden miteinander verglichen. Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den unterschiedlichen Auswertungen und Messungen wurden herausgearbeitet, die zur Bildung von allgemeingültigen Arbeitshypothesen für geplante Haupt-Tests im Projekt verwendet werden können.

Die 5 wichtigsten Komfortfaktoren wurden aus den Pre-Tests identifiziert (Sitzkomfort, Sicherheit, Lufttemperatur, Luftqualität und Geräusche/Lärm) und in Regressionsanalysen wurde der Einfluss dieser wichtigsten Komfortfaktoren auf den Gesamtkomfort dargestellt.

b) Multiple Regressionsanalysen: Mit multiplen Regressionsanalysen wurde der Einfluss der Zufriedenheit mit einzelnen Komfortfaktoren auf ein integrales Zufriedenheitsurteil untersucht. Die Analysen wurden für sämtliche im Rahmen von KATO von der Universität Oldenburg erhobenen Fragebogendaten durchgeführt. Hinsichtlich der Güte der Regressionen müssen die teilweise sehr unterschiedlichen Probandenzahlen berücksichtigt werden. Der Sitzkomfort wurde in den meisten Analysen als wichtigster Prädiktor der Gesamtzufriedenheit bestätigt. In weitergehenden Analysen erhielt man Ansatzpunkte dafür, dass das Geschlecht der Versuchspersonen als Moderator des Zusammenhangs zwischen der Zufriedenheit mit einzelnen Komfortfaktoren und der Gesamtzufriedenheit fungiert.

c) Faktorstruktur der Kundenzufriedenheit: Im Berichtszeitraum haben wir mit der Methode des Importance Grid alle Komfortfaktoren nach dem KANO-Modell in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen klassifiziert. Die Methode wurde auf alle bisher erhobenen Fragebogendaten angewendet. Für die verschiedenen Datensätze ergaben sich teilweise unterschiedliche Ergebnisse bzgl. der Struktur einzelner Komfortfaktoren. Im Meilenstein Nr.5 sind die mit der Klassifikation verbundenen Problematiken zusammengefasst und so beschrieben, dass eine angemessene Interpretation der Ergebnisse ermöglicht wird.

d) Direkt erfragte Wichtigkeiten: Ebenfalls im Meilenstein Nr.5 sind die direkt erfragten Wichtigkeiten einzelner Komfortfaktoren weiter analysiert worden. Dabei wurde mit einem an eine Varianzanalyse gekoppelten Post-Hoc-Test untersucht, inwieweit sich die Komfortfaktoren in ihren aggregierten Wichtigkeitsurteilen signifikant voneinander unterscheiden bzw. wie groß die Abstände zwischen ihnen sind. Es stellt sich heraus, dass die Urteile aufgrund eines Deckeneffektes nicht sehr stark differieren und keine eindeutige Gruppenbildung in wichtige und unwichtige Faktoren zu erkennen ist. Das Kapitel wird mit einer ausführlichen Vorstellung alternativer Methoden zur Erhebung von Wichtigkeiten, die hinsichtlich ihrer Eignung für die Fragestellung des Projektes diskutiert werden, abgeschlossen

Methodenverfeinerung

a) Cross-Modality-Matching“: Kurven gleicher Wahrnehmung von Schall- und Vibrationssignalen: In einer Laborstudien sind die Kurven gleicher Wahrnehmung von Schall- und Vibrationssignalen systematisch untersucht worden. In der Literatur findet man solche Untersuchungen unter dem Stichwort „Cross-Modality-Matching“, da die Wahrnehmung zweier unterschiedlicher Sinneswahrnehmungen gegeneinander untersucht wird. Zur Wiedergabe der Vibrationen wurde ein Vibrationsprüfstand, „Vibra-

tion-Floor“ genannt, der an der Universität Oldenburg in Kooperation mit der ITAP GmbH entwickelt worden ist, verwendet. Die akustischen Stimuli wurden über geschlossene Kopfhörer dargeboten. In drei Experimenten sind der Einfluss der Darbietungsreihenfolge der beiden unterschiedlichen Sinnesmodalitäten, des Startbeschleunigungspegels und des akustischen Referenzpegels systematisch untersucht worden. An der Studie nahmen 10 Probanden (2 weiblich, 8 männlich) teil. Hintergrund dieser Experimente ist die Auswertung von vibro-akustischen Zeitsignalen hinsichtlich eines kabinenkomfortrelevanten Parameters. Bisher existieren nur wenige dieser sinnesmodalitätsintegrierenden Parameter, wie z. B. das Comfort-Ride Model der NASA (Leatherwood, 1984).

b) Fragebogen: Potenzial der entwickelten psychologischen Arbeitswerkzeuges Fragebogen: Im Meilenstein Nr.6 ist zunächst einmal ein kurzer Überblick über die modulare Struktur der derzeit aktuellen Fragebogenversion V11 beschrieben. Im Anschluss wird sich nochmals – in Ergänzung zum Kapitel 5 aus dem Meilenstein Nr. 5 – mit dem psychologischen Messinstrument auseinander gesetzt um das Potenzial einer Weiterentwicklung darzustellen. Im Vordergrund sollen dabei zwei Aspekte stehen: zum einen das Reduzierungspotenzial um den Fragebogen bei inhaltlicher Vollständigkeit in der Länge möglichst kurz zu halten. Zum anderen eine kritische Betrachtung, ob die Parametrisierung bzw. Operationalisierung der integrativen Größe Gesamtkomfort ausreichend ist.

3.2 Nutzen und Verwertbarkeit der wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

Durch eine Sensitivitätsanalyse der Umgebungsparameter in der Kabine wird der optimale Entwurfsbereich für das technische Design identifiziert. Insofern ist von vorneherein auch der wirtschaftliche Verwertungsaspekt in dem Vorhaben berücksichtigt. Die Umsetzung des KM als Teil eines Expertensystem für Entwurfswerkzeuge ist erklärtes Ziel von Airbus. Es sind keine technisch-wissenschaftlichen Probleme bekannt, die dieser Umsetzung entgegenstehen. Zu diesem Thema eine Machbarkeitsstudie der Firma Offis durchgeführt worden, die ebenfalls zum gleichen Ergebnis kam [9]. Die einzige Grundvoraussetzung ist eine große Datenbasis von Komfortuntersuchungen in bodengebundenen Simulatoren mit systematischer Variation einzelner Umgebungsfaktoren bzw. –parameter und Messungen während realen Flüge zur Validation der im Simulator erhobenen Ergebnisse. Die kundenspezifische Verbesserung des Passagierkomforts bringt einen unmittelbaren Wettbewerbsvorteil.

3.3 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse, die während des Forschungsvorhabens von dritter Stelle erzielt wurden

In einem laufenden EU-Projekt führte die Universität Oldenburg Messungen zu einem (generischen) passagierbezogenen Komfortindex durch, die in das beantragte Vorhaben eingeflossen sind. In einem weiteren Arbeitspaket wurde die Wirkung von IFE Bereitstellung und Nutzung unter verschiedenen Umgebungsbedingungen untersucht. Daneben führte die Arbeitsgruppe Messungen von dynamisch-mechanischen Eigenschaften neuartiger Verbundmaterialien, die im Flugzeugbau Verwendung finden sollen, durch.

Im EU-Projekt HEACE, das während dieser Projektlaufzeit ebenfalls lief, wurde von der Antragstellerin koordiniert. Hier ging es um die Erfassung der Umgebungsbedingungen im Flugzeug in Bezug auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Flugpersonals während des Fluges. Zusammen mit dem FACE Projekt führte die Antragstellerin Messungen in bodengebundenen Simulatoren in Österreich und England zur Beanspruchung des Personals und zum Passagierkomfort in bodengebundenen Si-

mulatoren durch. Außerdem sind umfangreiche In-flight Messungen bezüglich der vorherrschenden Umgebungsfaktoren und der Beanspruchung des Personals durchgeführt worden. Auf der Basis der erhobenen Messdaten und durchgeführten Analysen sind statistische Ansätze zur Entwicklung eines HRM untersucht worden.

3.4 Veröffentlichungen und Vorhabensberichte

Publikationen

- Bellmann, M.A., Bastian, J. und Weber, R. (2005) „Psychophysikalische Untersuchungen zum Gesamtkomfort in Flugzeugkabinen (1/2)- Versuchs- und Rahmenbedingungen,“ in: *Fortschritte der Akustik*, Bochum, DAGA 2005 on CD. [10]
- Bastian, J., Bellmann, M.A. und Weber, R. (2005) „Psychophysikalische Untersuchungen zum Gesamtkomfort in Flugzeugkabinen (1/2)- Psychologische Erfassung komfortrelevanter Faktoren,“ in: *Fortschritte der Akustik*, Bochum, DAGA 2005 on CD. [11]

Projektberichte (vertraulich)

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.1: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 1: Anforderungen und konzeptionelle Voraussetzungen“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2004**

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.2: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Methodenentwicklung“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2004**

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.3: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Methodenentwicklung und Pre-Tests“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2005**

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.4: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2005**

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.5: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests und Weiterführende Analysen aller vorhandenen Messdaten“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2006**

Universität Oldenburg “Meilenstein Nr.6: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests und Methodenverfeinerung“, Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2007**

4 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.1: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 1: Anforderungen und konzeptionelle Voraussetzungen", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2004**
- [2] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.2: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Methodenentwicklung", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2004**
- [3] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.3: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Methodenentwicklung und Pre-Tests", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2005**
- [4] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.4: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2005**
- [5] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.5: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests und Weiterführende Analysen aller vorhandenen Messdaten", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2006**
- [6] Universität Oldenburg "Meilenstein Nr.6: Psychophysikalische Untersuchungen - AP 2: Pre-Tests und Methodenverfeinerung", Projektbericht für das KATO TP 04 Projekt (vertraulich), **2007**
- [7] Universität Oldenburg „Vorhabensbeschreibung Version 10“ zur Projekteinreichung beim BMWA, 2003
- [8] Universität Oldenburg „Potenzialstudie: Stellungnahme bzgl. Der relativen Luftfeuchtigkeit und Leistungsfähigkeit der Klimaanlage“, technischer Bericht, **2003**
- [9] Möbus, C., Lüdtke, A., Janssen, C. und Giebel, O. „Expertensystem zur Vorhersage des Kabinenkomforts“, technische Machbarkeitsstudie der Firma Offis, **2006**
- [10] Bellmann, M.A., Bastian, J. und Weber, R. (**2005**) „Psychophysikalische Untersuchungen zum Gesamtkomfort in Flugzeugkabinen (1/2)- Versuchs- und Rahmenbedingungen,“ in: *Fortschritte der Akustik*, Bochum, DAGA 2005 on CD.
- [11] Bastian, J., Bellmann, M.A. und Weber, R. (**2005**) „Psychophysikalische Untersuchungen zum Gesamtkomfort in Flugzeugkabinen (1/2)- Psychologische Erfassung komfortrelevanter Faktoren,“ in: *Fortschritte der Akustik*, Bochum, DAGA 2005 on CD.