

ANSATZPUNKTE ZUR STEIGERUNG DES THERMISCHEN KOMFORTS IN DER FLUGZEUGKABINE – ERGEBNISSE AUS DEM DO 728 MOCK-UP

C. Marggraf-Micheel, J. Winzen, DLR e.V. ; Luft- und Raumfahrtpsychologie, 22335 Hamburg

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag gibt einen Überblick zu Untersuchungen des wahrgenommenen Komforts in der Flugzeugkabine, die in einem Flugzeug-Mock-Up des DLR mit 70 Plätzen durchgeführt wurden. Zwei Klimaszenarien wurden für eine spezifische Dauer mit einem quasi-experimentellen Plan vorgegeben. Die Bewertung der Parameter Temperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit sowie eine Aussage zum subjektiven Wohlbefinden liegt von insgesamt 240 Personen vor. Die Ergebnisse zeigen hypothesenkonforme Unterschiede zwischen den vorgegeben Klimaszenarien auf. Weiterhin wird die Relevanz individueller Merkmale für den erlebten Komfort deutlich. Der Einfluss des Geschlechts, von Persönlichkeitsmerkmalen und von Klimapräferenzen wird aufgezeigt. Außerdem konnten Komfortunterschiede für Sitzreihen und für Körperbereiche ermittelt werden. Zusammenfassend lassen sich für die Optimierung der Klimatisierung der untersuchten Flugzeugkabine Gestaltungshinweise ableiten, die die Temperatur sowie die Stärke und den Verlauf der Luftströmung betreffen. Insgesamt ist Bedarf an individueller Regulierbarkeit der klimatischen Situation aufgrund persönlicher Klimapräferenzen festzustellen.

1. AUSGANGSLAGE

Das Komforterleben von Passagieren auf einem Reiseflug stellt bereits seit einigen Jahren einen bedeutsamen Faktor im Wettbewerb zwischen den Airlines dar. Die komfortable Auslegung von Flugzeugkabinen, die im Flugzeugbau umgesetzt wird, kann dabei unter Berücksichtigung einer großen Anzahl von Faktoren erfolgen. Anzuführen sind hier die Ausstattung der Kabine selbst (Sitz, Tisch, Licht etc.), Umgebungsvariablen (Flugdauer, Kabinencrew, Kabinenausstattung), Unterschiede zwischen den Passagieren (Alter, Geschlecht, Reiseanlass etc.) sowie unterschiedliche Aktivitäten (Schlafen, Lesen, Essen; [4]). Zu einem physikalischen Umgebungsfaktor, dem Kabinenklima, werden mit diesem Beitrag Ergebnisse berichtet.

Raumklima wird allgemein durch sechs Größen bestimmt: Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Strahlungswärme, Luftgeschwindigkeit, Bekleidung und die Aktivitätsrate der Person (nach Fanger [5]). In

der Flugzeugkabine ist das Klima durch die besonderen architektonischen und klimatechnischen Gegebenheiten (Röhrenform und Anordnung der Belüftungsschlitze, Entlüftung im Boden) innerhalb des Raumes uneinheitlich und über den Zeitverlauf auch wechselnd. Diese Grundbedingung stellt hohe Anforderungen an die Steuerung der Klimaanlage, wenn es darum geht, Unbehagen zu vermeiden und Wohlbefinden zu steigern. Da das Ausmaß des herrschenden Komforts letztlich vom Erleben der Passagiere abhängt, ist es notwendig, diese Eindrücke zu erheben und als Komfortmaß auszuweisen.

In dem hier vorzustellenden Untersuchungszusammenhang sind relevante Variablen des thermischen Komforts berücksichtigt, die in einem theoretischen Modell in Beziehung gesetzt werden (s. Bild 1). Thermischer Komfort ist demnach abhängig von der Ausprägung der objektiven physischen Parameter (Temperatur, Luftzug, Luftfeuchtigkeit u. a.), dem Sitzplatz und damit dem Bereich in der Kabine, in der

dieses Klima vorherrscht. Es wirkt unterschiedlich auf Körperbereiche, da das Klima in der Kabine lokal unterschiedlich ausfällt. Die Situation ist charakterisiert durch die Klimafälle, welche letztlich in Dauer und in ihrer Aufeinanderfolge unterschiedliche Wirkungen erzielen können. Im Weiteren ist die Wahrnehmung des Klimas beeinflusst durch individuelle Faktoren wie Geschlecht, Persönlichkeit, Klimapräferenzen. Der vorherrschende Klimakomfort wird von der individuellen subjektiven Verarbeitung der Klimasituation bestimmt.

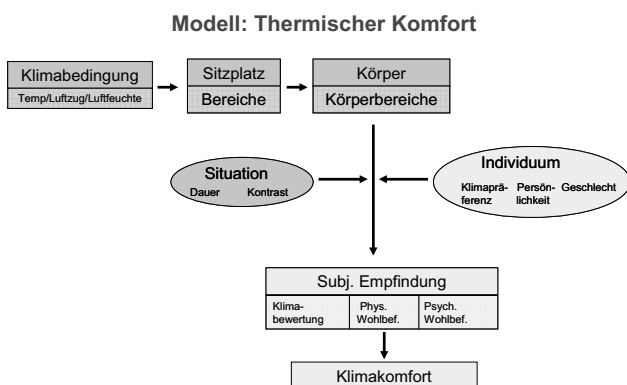


BILD 1. Modell zum thermischen Komfort

Subjektives Empfinden wird hier operationalisiert durch mehrere Kriterien: Klimabewertungen (Einschätzung der Parameterausprägung, Parameterbehaglichkeit, Parameterwirkung pro Körperteil, Gesamtklimabehaglichkeit); Physisches Wohlbefinden und Psychisches Wohlbefinden. Diese Variablen des subjektiven Empfindens werden mit Hilfe von Fragebogen erfasst. Die so gewonnenen Aussagen geben Auskunft über den erlebten Klimakomfort, der in quasi-experimentellen Untersuchungen analysiert wurde.

Die Arbeiten fanden im Rahmen des Forschungsprojektes CoSiCab+ (Comfortable and Silent Cabin +, 2007-2009, internes Projekt des DLR e.V.) statt. Zwei Klimafälle, die realistische Flugszenarien abbilden, wurden in den Untersuchungen analysiert. Analog der Bedingung im Steigflug (Climb) und in einem Kurzstreckenreiseflug (Cruise)

wurden Temperatur, Luftzug und Luftfeuchtigkeit vorgegeben und von Versuchspersonen in ihrer Wirkung bewertet. Dabei wurde die Bedingung Climb mit 25 Grad, einer Luftaustauschrate von 19 und einer Luftfeuchtigkeit mit 25 % sowie die Bedingung Cruise mit 22 Grad, einer Luftaustauschrate von 24 und einer Luftfeuchtigkeit von 18% definiert.

Die Parameter Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden während der Versuchsdurchführungen in der Kabine gemessen (s. Tabelle 1). Die Stärke der Luftströmung wurde in separaten Messungen mit Dummies erhoben. Nach einem Umbau der Klimaanlage konnte ab 2009 die Luftfeuchtigkeit kontrolliert variiert werden. Der Umbau der Klimaanlage führte außerdem insgesamt zu einer homogenen Klimatisierung. Hervorzuheben ist, dass die vier Untersuchungen aufgrund der Überarbeitungen der Klimaanlage, unterschiedlicher Jahreszeiten zum Durchführungszeitpunkt und unterschiedlicher Szenarienlänge nur als Einzelfälle und nicht als Replikationen betrachtet werden können.

		Cruise	Climb
Temperatur in °C			
Dezember 2007	M	23.22 °C	24.94 °C
	SD	0.24	0.40
Mai 2008	M	23.65 °C	25.23 °C
	SD	0.27	0.56
Mai 2009	M	22.86 °C	25.21 °C
	SD	0.50	0.41
September 2009	M	21.88 °C	24.79 °C
	SD	0.23	0.28
Relative Luftfeuchtigkeit in %			
Dezember 2007	M	33.6%	37.7%
	SD	1.09	2.00
Mai 2008	M	32.5%	36.5%
	SD	0.73	2.83
Mai 2009	M	22.9%	36.3%
	SD	3.01	2.91
September 2009	M	40.3%	28.7%
	SD	1.17	1.44

TAB 1. Objektive Messungen der Temperatur und Luftfeuchtigkeit ([10], S. 11)

2. UNTERSUCHUNGSDESIGN

Insgesamt wurden vier Untersuchungen in einem Flugzeugkabinen-Mock-Up vom Typ „Dornier 728“ durchgeführt (s. Bild 2). 70 Sitzplätze sind in dieser vollständigen Kabine in 14 Reihen angeordnet. Das Single Aisle Flugzeug weist drei Sitzplätze auf einer und zwei Sitzplätze auf der anderen Seite des Ganges auf (s. Bild 3).



BILD 2. Dornier728 Mock-Up

Die Stichprobe in jedem Untersuchungsdurchgang setzte sich aus Studenten mit einem durchschnittlichen Alter von 24 Jahren zusammen. Jeweils zur Hälfte wurden Männer und Frauen befragt. Die Versuchspersonen wurden gebeten langärmelige Pullover, lange Hosen und geschlossene Schuhe zu tragen, um die Bekleidungsstärke vergleichbar zu halten.



BILD 3. Versuchspersonen in der Kabine des Do 728 Mock-Up

Die Luftaustauschrate wurde durch die entsprechende Steuerung der Klimaanlage geregelt. Nachträgliche Messungen der Luftgeschwindigkeit an Dummies zeigen für die Bedingung Climb durchschnittlich 0,15 m/s (gemittelt über alle Körperteile) und für Cruise entsprechend durchschnittlich 0,17 m/s auf.

In den vier Untersuchungen (Dezember 2007, Mai 2008, Mai 2009, September 2009) wurden die beiden Untersuchungsbedingungen für eine Dauer von je 20 Minuten präsentiert und in umgekehrter Reihenfolge wiederholt vorgegeben (im Sep. 2009 wurde mit 30 Minuten Wirkdauer gearbeitet und die Szenarien wurden nur ein Mal vorgegeben). Nach Ende jedes Szenarios beantworteten die Versuchspersonen Fragen zum erlebten Klima und ihrer Befindlichkeit. Während der Klimabedingungen wurden sie mit einem Film unterhalten. Zu Beginn der Untersuchung fanden eine Einweisung und eine Vorlaufphase statt, in der noch kein stabiles Klima präsentiert, deren Wirkung jedoch auch erfragt wurde.

Das Befragungsinstrumentarium bestand aus einem einmalig vorgegebenen Fragebogen, der stabile Merkmale der Person erfasste (Persönlichkeit, Klimapräferenz) und einem wiederholt vorgegebenen Instrument zur Erfassung des aktuellen Komfortempfindens. Die verwendeten Skalen sind in mehreren Studien in Kabinen-Mock-Ups eingesetzt und hinsichtlich ihrer Testgüte geprüft [8]. Das für diesen Untersuchungszusammenhang eingesetzte Inventar ist beschrieben in Marggraf-Micheel, Piewald, Winzen und Berg [10].

3. ERGEBNISSE

3.1 Bewertung der Klimasituation

Für alle vier Untersuchungen wurde das subjektive Erleben zur Wirkung der Klimaparameter - Temperatur, Luftströmung, Luftfeuchtigkeit - ausgewertet. Betrachtet wurde jeweils die subjektive Einschätzung der Ausprägung eines Parameters sowie

dessen Bewertung der Behaglichkeit. Die Ergebnisse der varianzanalytischen Prüfungen von Mittelwertsunterschieden mit den entsprechenden Kennwerten sind ausführlich dokumentiert [10].

Mit einem zusammenfassenden Überblick zu diesen Ergebnissen kann gesagt werden, dass für den Parameter Temperatur in allen vier Analysen für Cruise die Einschätzung „leicht kühl“ und für Climb die Einschätzung „eher warm“ vorliegt (signifikante Mittelwertsunterschiede). Diese subjektiven Einschätzungen entsprechen den objektiven Temperaturbedingungen in den beiden Klimafällen. Die Behaglichkeit der Temperatur wird jedoch in den Untersuchungen unterschiedlich bewertet. Signifikante Unterschiede zwischen den Klimafällen zeigen sich in der erlebten Behaglichkeit nur im Dezember 2007 und im September 2009. In beiden Fällen wird Climb als angenehmer bewertet als Cruise.

Entsprechend dem objektiv stärkeren Luftzug in Cruise wird dieser von den Versuchspersonen auch stärker eingeschätzt als in Climb (signifikanter Mittelwertsunterschied). In den meisten Fällen zeigt sich, dass der Luftzug in Climb auch als behaglicher bewertet wird (statistisch bedeutsam). Lediglich im Mai 2009 wird der Luftzug in beiden Klimabedingungen als gleichermaßen behaglich erlebt.

Für die subjektive Bewertung der Luftfeuchtigkeit lässt sich keine generelle Tendenz in den Ergebnissen aufzeigen.

Die Luftqualität wird in allen vier Untersuchungen einheitlich für Climb stickiger und verbrauchter eingeschätzt als für Cruise und wird als unangenehmer bewertet (signifikante Mittelwertsunterschiede).

Die Ergebnisse zur Klimazufriedenheit (s. Bild 4) zeigen zunächst, dass die maximale Zufriedenheit bei 76% der Befragten liegt. Nach den Vorgaben der Raumklimaforschung werden 95% Zufriedene angestrebt [5], so dass für die gewählten Klimabedingungen Verbesserungspotential gesehen werden kann.

Weiterhin fällt die Zufriedenheit mit dem Klima in den vier Untersuchungen unterschiedlich aus. Für die Bedingung Cruise zeigt sich in den Mai-Untersuchungen ein höherer Prozentsatz an Zufriedenen (absolut und relativ), während im September kaum Unterschied zwischen den Klimafällen besteht. Im Dezember zeigt sich für die Bedingung Cruise eine sehr niedrige Zufriedenheit. Die Ergebnisse könnten auf dem Hintergrund der anderen Jahreszeit und Außentemperatur im Dezember auch als Jahreszeiteffekt interpretiert werden [9]. Die stärkere Luftströmung in der Bedingung Cruise, die auch für ein kühleres Temperaturempfinden sorgt, könnte hier ursächlich sein für die Unterschiede im Komfortempfinden in Winter- und Sommerstudien [1].

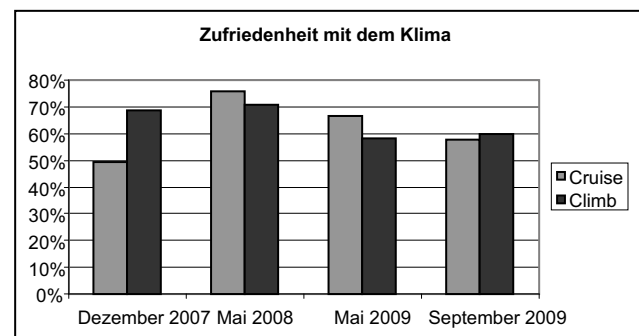


BILD 4. Anzahl der Personen, die mit dem Klima in Cruise und Climb zufrieden sind (in %) ([10], S. 31)

Im folgenden bezieht sich die Ergebnisdarstellung ausschließlich auf die im Mai 2009 erhobenen Daten. Durch den in dieser Untersuchung verwendeten Einsatz der homogenisierten Kabine, die vollständige Variation der Luftfeuchtigkeit und die wiederholte Vorgabe der Klimafälle zur Kontrolle des Reihenfolgeeffektes stellt sie eine methodisch gut umgesetzte Studie dar, deren Ergebnisse eine breite Analyse zulassen. Die Kennwerte und statistischen Prüfgrößen für die folgenden Ergebnisse sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

3.2 Psychisches und Physisches Wohlbefinden

Befragt nach ihrem Wohlbefinden gaben die Versuchspersonen Auskunft zu den Bereichen Stimmung, Wachheit und Ruhe [11], die dem psychischen Wohlbefinden zugeordnet sind. Außerdem wurden Fragen gestellt zum physischen Wohlbefinden und damit zur erlebten Leistungsfähigkeit sowie zur körperlichen Behaglichkeit (nach Frank [6]). Für alle Bereiche können signifikante Unterschiede zwischen den Klimafällen Cruise und Climb berichtet werden. Durchweg wird hier für die Bedingung Cruise ein besseres Wohlbefinden in Hinblick auf die psychische und auch die physische Befindlichkeit berichtet.

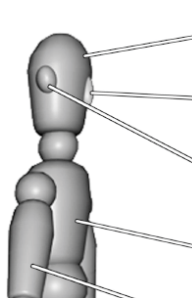
3.3 Faktor Körperbereiche

Die Versuchspersonen wurden in der Untersuchung nach jedem Szenario befragt, wie sie die Temperatur und den Luftzug an einzelnen Körperteilen empfinden (s. Bild 5). Insgesamt wurden 19 Bereiche vom Kopf bis zu den Fußknöcheln für die linke und rechte Körperhälfte getrennt erfasst.

Bitte bewerten Sie, wie Sie sich hier in der Flugzeugkabine fühlen - hinsichtlich des Luftzugs.

Ich empfinde den Luftzug an folgendem Körperteil als...

Bitte bei jedem Körperteil Zutreffendes ankreuzen: X



Körperteil	gar nicht	sehr schwach	sehr stark	sehr unangenehm	neutral	sehr angenehm
Stirn	1	2	3	4	5	6
Nase	1	2	3	4	5	6
rechtes Ohr	1	2	3	4	5	6
Oberkörper	1	2	3	4	5	6

BILD 5. Beispielitems Klimabewertung pro Körperteil für Luftzug-Einschätzung und Luftzug-Behaglichkeit [10]

Deutlich wird, dass das Wohlbefinden an den Körperteilen unterschiedlich stark ausfällt, wobei sich zum Teil unterschiedliche Beurteilungen in Abhängigkeit von der Kli-

mabedingung ergeben. Für den Parameter Temperatur kann berichtet werden, dass die Knöchel insgesamt die niedrigsten Temperaturwerte aufzeigen. In der Bedingung Climb fallen die Temperaturwerte für die Knöchel und den Nacken signifikant niedriger aus als die mittlere Temperatureinschätzung aller Körperteile. Am Knöchel werden die Temperaturen zudem als wenig behaglich bewertet. Hier zeigen sich signifikante Unterschiede zum Gesamtmittelwert für die Bedingung Cruise.

3.3 Faktor Sitzreihe

Zur Analyse des Einflusses der Platzierung in der Flugzeugkabine auf das Komforterleben wurden Unterschiede im Wohlbefinden zwischen den Sitzreihen der Do 728 getestet. Verglichen wurden die Komfortaussagen für die Reihen „Fenster links“, „Mitte“, „Links Gang“, „Rechts Gang“ und „Fenster rechts“. Erste Analysen zeigen Unterschiede in den Temperatur- und Luftzugeinschätzungen. Die Gangplätze zeichnen sich in mehreren Auswertungen durch eine kühlere, unangenehmere Temperatur und stärkeren, unangenehmeren Luftzug aus. Für die Ergebnisse im Mai 2009 wurden diese Analysen stärker ausdifferenziert. So sind hier zusätzlich Aussagen für das Erleben an Körperhälften berücksichtigt (s. Tabelle 2). Geprüft wurde die Hypothese, dass in den beiden Gang-Sitzreihen die dem Gang zugewandten Körperhälften ein niedrigeres Komfortniveau aufweisen als die dem Fenster zugewandten Körperhälften. Für beide Klimafälle Cruise und Climb zeigt sich eine Bestätigung dieser Hypothese: Für Gangplätze wird deutlich, dass die Temperatur an der Körperhälfte, die dem Gang zugewandt ist, als signifikant kälter eingeschätzt wird als an der Körperhälfte, die zur Kabinenwand ausgerichtet ist. Außerdem wird die Temperatur an der Körperhälfte, die dem Gang zugewandt ist, auf Gangplätzen als signifikant unbehaglicher bewertet als die andere Körperhälfte. Die Reihe „Mitte“ zeigt gleiche Effekte wie die Reihe „links Gang“ auf. Für die Fensterseite gibt es kei-

ne signifikanten Effekte. Beide Körperhälften werden gleich temperiert und angenehm empfunden.

Weiterhin zeigen sich Unterschiede in der Luftzugwirkung für beide Klimafälle. Auf Gangplätzen wird an der Körperhälfte, die dem Gang zugewandt ist, mehr Luftzug empfunden als an der Körperhälfte, die zur Außenwand gerichtet ist. In der Behaglichkeitsbewertung zeigt sich hier jedoch kein bedeutsamer Unterschied. Für die Fensterplätze sind wiederum keine Unterschiede im Erleben zu finden.

Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass die Ergebnisse für eine Untersuchung mit Bodenbedingung berichtet werden. Bei Echtflügen wirken sich die kalten Außentemperaturen auf das Temperaturerleben an den Fenstersitzplätzen aus. Durch die Bauweise bei neuen Flugzeugmodellen ist diese Wirkung jedoch deutlich abgeschwächt, so dass in dieser Hinsicht die gewonnenen Daten übertragbar wären.

3.5 Personenmerkmale

Die Versuchspersonengruppe war in gleichen Teilen aus Frauen und Männern zusammengesetzt. Ein Vergleich der Komfortaussagen beider Geschlechter belegt erwartete Unterschiede (s. Tabelle 2), die sich beispielsweise in einem signifikanten Interaktionseffekt für Geschlecht und Klimabedingung für die Variable „Klima gesamt Behaglichkeit“ ausdrücken. Es zeigt sich, dass Frauen das Klima Cruise deutlich unangenehmer erleben als Männer. Die wärmere Bedingung Climb wird hingegen von den Frauen angenehmer empfunden als von den Männern. Diese fühlen sich in der wärmeren Bedingung deutlich unwohler als in der kühleren Bedingung.

Die Versuchspersonen wurden nach dem von ihnen im Alltag bevorzugten Klima befragt. Dieses Merkmal Klimapräferenz wurde für alle untersuchten Klimaparameter erfasst. So liegen beispielsweise im Hinblick auf die Präferenz von Temperaturhöhen Aussagen von „kälteempfindlichen“ und „kälteunempfindlichen“ Personen vor. Die in

Tabelle 2 aufgenommenen Mittelwerte zeigen einen signifikanten Interaktionseffekt. Das Ausmaß der Zufriedenheit mit dem Klima in der Flugzeugkabine (Klima gesamt -Behaglichkeit) hängt von der Klimapräferenz und der Klimabedingung ab. In Cruise empfinden kälteempfindliche Personen das Klima unangenehmer als kälteunempfindliche Personen. Umgekehrt fällt die Bewertung für die wärmere Klimabedingung Climb aus. Außerdem zeigt sich die niedrigste Behaglichkeit für kälteunempfindliche Personen in der Bedingung Climb.

Als weiteres Personenmerkmal wurde ein klassisches Persönlichkeitsmerkmal - die emotionale Stabilität [3] - erhoben, um hier nach möglichen Unterschieden im Erleben der Klimaszenarien zu suchen. Signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen emotional stabilen und neurotischen Personen wurden für die eingeschätzte Leistungsfähigkeit gefunden. Die emotional stabileren Personen schätzen sich in jeder der Klimabedingungen als leistungsfähiger ein.

Diese Auswahl an Ergebnissen zeigt auf, dass Personenmerkmale in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen für die Aufklärung von Unterschieden im Komforterleben einen Beitrag leisten können.

4. DISKUSSION

Mit den vorgestellten Ergebnissen kann aufgezeigt werden, dass die eingesetzte Vorgehensweise zur Erfassung von Komfort in der Flugzeugkabine hypothesenkonforme und differenzierte Aussagen liefert. Die in einem theoretischen Modell zum Kabinenkomfort berücksichtigten Variablen erweisen sich als relevant für die Bestimmung des Komforterlebens. Auf diesem Hintergrund belegt die Befragung von Versuchspersonen in einem Flugzeugkabinen-Mock-Up, dass Personen die beiden untersuchten klimatischen Bedingungen in ihrer Wirkung unterscheiden. In der Gesamtbewertung hat sich die Klimabedingung Cruise als komfortabler herausgestellt, wobei für einzelne Variablen (z.B. Temperaturbehaglichkeit, Luftzugbehaglichkeit) auch

die Bedingung Climb als thermisch angenehmer ausgewiesen ist. Weiterhin wird deutlich, dass die Wirkung einer Klimabedingung an unterschiedlichen Körperbereichen und auf unterschiedlichen Sitzplätzen variiert. In den hier verwendeten Szenarien und entsprechend der Gestaltung der Do 728 Kabine weist das Klima am Boden der Kabine und im Gangbereich Verbesserungsbedarf auf. Die Wahrnehmung des Komforts ist jedoch individuell sehr unterschiedlich geprägt. Einfluss haben hier das Geschlecht, persönliche Klimapräferenzen und auch Persönlichkeitsmerkmale wie z.B. Emotionale Stabilität. Die Auslegung einer Flugzeugkabine mit einem Klima das 95% der Passagiere zufriedenstellt scheint auf diesem Hintergrund schwer umsetzbar. Eventuellen Begrenzungen der Aussagekraft der erhobenen Daten durch die Untersu-

chungsbedingung am Boden muss durch weitere Studien unter Flugbedingung begegnet werden.

Entsprechend der hier vorgestellten Hinweise auf individuelle Präferenzen scheinen Entwicklungen angezeigt, die eine Berücksichtigung individueller Komfortwünsche im Hinblick auf das Klima ermöglichen. Ansätze sollten dabei über die in Flugzeugkabinen mögliche Regulierung der Frischluftzufuhr hinausgehen. Ein System für die Aufnahme von Passagierwünschen zur Temperierung und deren Umsetzung in definierten Klimazonen wird bereits angeboten [2]. Ebenso verfolgt das EU-Forschungsprojekt iSpace „Individuelles Klima im Flugzeug“ [7] eine Steigerung des Komforts durch technische Lösungen für die Berücksichtigung individueller Komfortwünsche.

5. LITERATUR

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 161-2007. Air quality within Commercial Aircraft.
- [2] Baatz, A., Mühlthaler, G., Wenck, H. D. & Kuhlmann, H. (2009). *Verfahren zur Erfassung und Auswertung der Anforderungen von Flugzeugpassagieren*. Retrieved Mai 18th, 2010, from <http://www.patent-de.com/20090226/DE10161712B4.html>
- [3] Borkenau, P. & Ostendorf, F. (2008). *NEO-Fünf-Faktoren-Inventar nach Costa und McCrae* (2., neu normierte und vollständig überarbeitete Auflage). Göttingen: Hogrefe.
- [4] Dumur, E., Banard, Y. & Boy, G. (2004). Designing for comfort. In D. de Waard, K.A. Brookhuis & C.M. Weikert (Eds.), *Human Factors in design*. (pp.111-127). Maastricht, the Netherlands: Shaker.
- [5] Fanger, P.O. (1972). *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York, NY: McGraw-Hill.
- [6] Frank, R. (2003). FAW-Fragebogen zur Erfassung des aktuellen körperlichen Wohlbefindens. In J. Schumacher, A. Klaiberg & E. Brähler (Hrsg.), *Diagnostische Verfahren zu Lebensqualität und Wohlbefinden* (S.116-121). Göttingen: Hogrefe.
- [7] iSPACE – Innovative systems for Personalised Aircraft Cabin Environment. Retrieved Mai 18th, 2010, from <http://www.ibp.fraunhofer.de/presse/index.php?id=122>
- [8] Marggraf-Micheel, C. & Jaeger, S. (2007). *Erfassung des subjektiven Wohlbefindens in der Flugzeugkabine* (Forschungsbericht 2007-7). Hamburg: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.
- [9] Marggraf-Micheel, C., Rütten, M. & Piewald, C. (2009). *Thermal Comfort in the Aircraft Cabin: The Potential of Objective and Subjective Measurement*. Conference

Proceedings, CEAS 2009 – European Air and Space Conference in Manchester, UK, 26.-29.10.2009.

- [10] Marggraf-Micheel, C., Piewald, C., Winzen, J. & Berg, Y. (2010). *Thermischer Komfort in der Flugzeugkabine – Forschung im Do 728 Kabinen Mock-Up* (Forschungsbericht 2010-07). Hamburg: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.
- [11] Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. & Eid, M. (1997). *Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF)*. Handanweisung. Göttingen: Hogrefe.

ANHANG

Parameter	N	Klima Cruise MW (SD)	Klima Climb MW (SD)	Prüfgröße		
Wohlbefinden				d		
Stimmung	70	4,03 (0,56)	3,83 (0,63)	0,34**		
Wachheit	70	3,35 (0,78)	3,10 (0,68)	0,34**		
Ruhe	70	4,21 (0,56)	4,03 (0,62)	0,31**		
Leistungsfähigkeit	70	3,72 (0,60)	3,45 (,066)	0,43**		
Körperliches Wohlbefinden	70	3,44 (0,70)	3,29 (0,75)	0,21 ⁺		
Körperbereiche						
Temperatur-Einschätzung	70			F (df₁/df₂)		
Knöchel (rechts)		3,28 (1,08)	4,01 (0,92) ^a	2,59(9,33/643,46)**		
Knöchel (links)		3,30 (1,10)	3,92 (0,85) ^a			
Temperatur-Behaglichkeit	70					
Knöchel (rechts)		3,01 (0,90) ^a	3,05 (0,74)	3,21(9,03/623,16)**		
Knöchel (links)		3,03 (0,89) ^a	3,04 (0,65)			
Sitzreihen am Gang				T (df)		
Temperatur-Einschätzung				Cruise	Climb	
Körperhälfte am Gang	28	3,17 (0,75)	4,00 (0,73)	-3,25(27)**	-3,23(27)**	
Andere Körperhälfte	28	3,58 (0,76)	4,31 (0,68)			
Luftzug-Einschätzung						
Körperhälfte am Gang	28	2,79 (0,97)	1,94 (0,82)	4,80(27)**	3,74(27)**	
Andere Körperhälfte	28	2,36 (0,95)	1,63 (0,71)			
Geschlecht						
Klima gesamt - Behaglichkeit				F(df₁/df₂)		
Weiblich	35	2,97 (0,90)	3,03 (0,75)	9,28 (1/68)**		
Männlich	35	3,43 (0,76)	2,67 (0,80)			
Persönlichkeitsmerkmale						
Klima gesamt - Behaglichkeit				F(df₁/df₂)		
Kälteempfindlich	39	3,06 (0,87)	3,03 (0,72)	6,60 (1/68)**		
Kälteunempfindlich	31	3,37 (0,83)	2,63 (0,84)			
Leistungsfähigkeit						
Emotional stabiler	33	3,94 (0,44)	3,67 (0,56)	10,02 (1/68)**		
Neurotischer	37	3,53 (0,66)	3,25 (0,69)			

Anmerkungen: ⁺ $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$; ^a Empfinden weicht signifikant von der durchschnittlichen Beurteilung ab; Skala Wohlbefinden: 1 = „gar nicht“ bis 5 = „völlig“; Skala Temperatur-Einschätzung: 1 = „sehr kalt“ bis 7 = „heiß“; Skala Luftzug-Einschätzung: 1 = „gar nicht“ bis 7 = „sehr stark“; Behaglichkeits-skalen: 1 = „sehr unangenehm“ bis 5 = „sehr angenehm“.

TAB 2. Untersuchungsergebnisse zum Subjektiven Wohlbefinden Mai 2009 (nach [10])