

## KLIMAEMPFINDEN UND KOMFORT IN DER FLUGZEUGKABINE MODERIERT DURCH FARBIGES LICHT?! – ERGEBNISSE EINER STUDIE AUS DEM PROJEKT LIKAB

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

### ZUSAMMENFASSUNG

Mit diesem Beitrag wird eine Studie zur Untersuchung der Wirkung von Lichtverhältnissen auf das thermische Komfortempfinden in dem Projekt LiKab (Lichtempfinden und Kabinenklima)<sup>1)</sup> vorgestellt. Ermittelt wird, ob farbiges Licht als Moderator für Klimaempfinden in der Flugzeugkabine eingesetzt werden kann. Bei der angestrebten Analyse der Wirkung von farbigem Licht geht es zum einen um die psychische Beeinflussung von Temperaturwahrnehmung und zusätzlich werden Effekte auf den Energieverbrauch für die Klimatisierung der Kabine erwartet. Im günstigen Fall könnte das Vorgehen darin bestehen, farbiges Licht so einzusetzen, dass das Wohlbefinden der Reisenden auf einem komfortablen Niveau liegt und ein thermischer Effekt erzielt wird, der die aktuelle Temperaturlage in der Kabine ideal reguliert – also je nach Bedarf etwas wärmer oder kühler erscheinen lässt. Vorliegende Untersuchungen in diesem Feld beziehen sich auf die „Farbton-Wärme Hypothese“. Ergebnisse einer ersten Studie im Projekt LiKab mit 59 Personen in einem Lichtlabor des DLR e.V., belegen hypothesenkonforme Effekte farbigen Lichts auf das thermische Empfinden.

1) Spitzencluster Luftfahrt – Metropolregion Hamburg – BMBF Förderkennzeichen 03CL08

### 1. AUSGANGSLAGE

Um Komforterleben während eines Reise- flugs zu gewährleisten, müssen Umgebungsbedingungen so ausgelegt sein, dass sie den Bedürfnissen der Passagiere entsprechen. Die thermischen Bedingungen in der Flugzeugkabine sollen durch die Klimaanlage so gesteuert werden, dass Unbehagen vermieden und ein möglichst hohes Wohlbefinden hinsichtlich Temperatur, Luftzug und Luftfeuchtigkeit erreicht wird. Hierbei wird Energie eingesetzt, um für die Passagiere im Reiseflug Behaglichkeit zu schaffen mit Temperaturen zwischen 22°C und 27°C, einer Luftgeschwindigkeit kleiner als 0,3 m/s auf allen Sitzplätzen und einer durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit von möglichst 30% [4]. Letztlich ist das subjektive Wohlbefinden der Passagiere ausschlaggebend für den Grad des Komforts in einer Flugzeugkabine [13], so dass zur Bestimmung komfortabler Bedingungen in jedem Fall Einschätzungen von Personen eingeholt werden müssen.

In dem hier vorzustellenden Untersuchungszusammenhang sind daher relevante Variablen des thermischen Komforts berücksichtigt, die in einem theoretischen Modell in Beziehung gesetzt werden (s. Bild 1). Demnach hängt thermischer Komfort zunächst von der Ausprägung der objektiven physikalischen Parameter (Temperatur, Luftzug, Luftfeuchtigkeit u. a.) ab. Außerdem wirkt sich die Position im Raum - hier der Sitzplatz in der Kabine - aus. Da das Klima in der Kabine lokal unterschiedlich ausfällt, wirken die Parameter auch am Körper lokal unterschiedlich. Die thermische Situation ist insgesamt durch Flugphasen beeinflusst, 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 und Klimapräferenzen. Der vorherrschende Klimakomfort wird somit grundsätzlich von der individuellen subjektiven Verarbeitung der Klimasituation bestimmt.

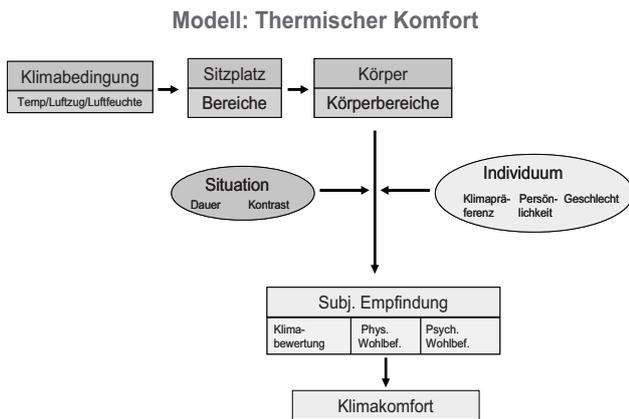


BILD 1. Modell zum thermischen Komfort (nach [11])

Subjektives Empfinden wird in dieser Studie durch mehrere Kriterien operationalisiert. Anzuführen sind hier: 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 gewonnenen Aussagen geben Auskunft über den erlebten Klimakomfort, der bereits in mehreren quasi-experimentellen Untersuchungen analysiert wurde [11]. Studien zum Einfluß von Umgebungsparametern auf den thermischen Komfort legen nahe, weitere Parameter in das Modell aufzunehmen. In dieser Studie wurde der Parameter Licht integriert.

Licht beeinflusst den Menschen physiologisch und psychologisch und ist im Hinblick auf seine Wirkung für verschiedene Lebenssituationen untersucht. Die Leistung und Zufriedenheit am Arbeitsplatz, die medizinisch therapeutische Wirkung, die Lernleistung, das Käuferverhalten und auch das Komfortempfinden im Wohnbereich oder auf Reisen wird als beeinflusst von der Beleuchtungssituation beschrieben [6,16,17]. Kritisch zu betrachten ist, dass die Bedingungen der hierzu durchgeführten Studien, die sich stark im experimentellen Aufbau

z.B. der verwendeten Leuchtmittel unterscheiden, oft nicht genau spezifiziert werden. Dies bezieht sich auch auf die Dokumentation und Kontrolle relevanter Lichtparameter wie u.a. Blendung, Helligkeit, Farbigekeit. Darüber hinaus werden Ergebnisse aus Studien zur Wirkung von farbigen Flächen zum Teil auf die Wirkung von farbigem Licht generalisiert. Es scheint zweifelhaft, ob dies angebracht ist. Ebenso zeigen sich Mängel in der reliablen und validen Messung emotionaler Reaktionen auf Licht. Insgesamt liegen bislang wenig verallgemeinerbare Erkenntnisse vor.

Die Farbigekeit des Lichts gilt als ein Parameter, der Einfluss auf den Zustand von Menschen nimmt [2, 16]. Neben dem gezielten Einsatz von weißem Licht in unterschiedlichen Tönungen, werden farbige Beleuchtungen verwendet, um die Wirkung eines Raumes hinsichtlich des Wohlbefindens zu verändern. Farbige Licht wird zunehmend auch in modernen Flugzeugen eingesetzt, um den Komfort von Passagieren zu erhöhen. Hier wird unter anderem angestrebt, das Befinden von Passagieren auf Langstreckenflügen im Hinblick auf den Schlaf-Wachrhythmus zu optimieren [1].

Häufig werden Farben in ihrer psychischen und physischen Wirkung z.B. auf Stimmung, Aktivität und Leistung charakterisiert [7]. Meist beziehen sich diese Beschreibungen auf die Wirkung von Körperfarben. Die Wirkung von Lichtfarben scheint vor allem in Hinblick auf die Aktivierung von der Wirkung von Körperfarben abzuweichen. So ist für blaues Licht – speziell mit einer Wellenlänge von etwa 460 Nanometer – eine aktivierende Wirkung belegt, da bei Beleuchtung mit diesem Licht eine Melatonsuppression einsetzt [1,15].

Für die hier angestrebte Analyse der Wirkung von farbigem Licht auf das Klimaempfinden die Fragestellung untersucht, inwieweit Farben auf das thermische Empfinden einwirken. In diesem Zusammenhang wird eine Kategorisierung in einerseits „warme“ und andererseits „kalte“ Farben herange-

zogen [14, 16]. Als warme Farben gelten Rot, Gelb und Orange. Blau, Grün und Violett gehören in die Gruppe der kalten Farben.

Untersuchungen der „Farbton-Wärme Hypothese“ werden zusammenfassend von Heijs und Stringer [8] berichtet. Einige Studien zum Einfluss von Farbe auf das Temperaturempfinden nutzen farbige Flächen, um die Farbton-Wärme Hypothese zu testen. Berichtet werden uneinheitliche Befunde [3, 6, 8, 12]. Bei Einsatz von farbigen Flächen streuen die Ergebnisse zwischen einerseits der Negierung von Unterschieden im thermischen Empfinden mit einer Wirkung auf das Komfortempfinden bei Einsatz und andererseits dem Nachweis von Effekten zwischen 2°C und 8°C in der Einschätzung der Temperaturwirkung. Größere Relevanz für die Wirkung von Lichtfarben haben nach unserer Einschätzung Ergebnisse aus Studien, die die Wirkung von farbigem Licht und nicht von farbigen Flächen behandeln.

Hypothesenkonforme Ergebnisse lassen sich hier nach Fanger [5] vorlegen. Er zeigt, dass - bei objektiv gleichen Raumtemperaturen - rotes Licht zur Wahrnehmung von höheren Temperaturen führt, während blaues Licht ein kälteres Temperaturempfinden bewirkt. Er führt einen Erlebensunterschied in Höhe von 0,4°C bei Einsatz von stark gesättigtem blauem bzw. rotem Licht an. Kritisiert wird, dass nur eine sehr kleine Gruppe von 16 Personen an diesem Experiment teilnahm [8].

Da mit der Klimatisierung von Flugzeugkabinen zwei Ziele – Komforterrhöhung und Energieeffizienz – verfolgt werden, könnte der gezielte Einsatz von Lichtfarben zur Wirkung auf das Wohlbefinden und das thermische Empfinden vorteilhaft genutzt werden. Genauer könnte das Vorgehen darin bestehen, farbiges Licht so einzusetzen, dass das Wohlbefinden der Reisenden auf einem komfortablen Niveau liegt und ein thermischer Effekt erzielt wird, der die aktuelle Temperaturlage in der Kabine ideal reguliert – also je nach Bedarf etwas wärmer oder kühler erscheinen lässt.

Für die Versuchssituation wurden daher sowohl „kühlere Farbtöne“ und „wärmere Farbtöne“ gewählt, die jeweils Wohlbefinden unterstützen. Ausgewählt wurden Blau- und Gelbtöne.

Basierend auf den Erkenntnissen zum Einfluss von farbigem Licht auf das Wohlbefinden und auf das thermische Empfinden wurden folgende Hypothesen generiert, die speziell für die Reisesituation in einer Flugzeugkabine geprüft werden sollen:

1) Farbiges Licht hat einen Einfluss auf das Wohlbefinden. Gelb und Blau wirken positiv.

2) Farbiges Licht wirkt auf das thermische Empfinden: Blau bewirkt kühleres Temperaturempfinden, Gelb wärmeres Temperaturempfinden.

## 2. UNTERSUCHUNGSDESIGN

Auf dem Hintergrund der begrenzten empirischen Basis für die Überprüfung der Farbton-Wärme Hypothese, wurden zur Untersuchung der Fragestellung zunächst Laborversuche mit experimentellem Design durchgeführt. Insgesamt wurden 59 Personen in dem Lichtlabor des DLR e.V. in Hamburg zur thermischen Wirkung von farbigem Licht befragt.

Die Stichprobe bestand aus neun weiblichen und 50 männlichen Versuchspersonen mit Schulabschluss Abitur. Das durchschnittliche Alter der Probanden lag bei 21 Jahren (Mittelwert = 21,37; SD = 2,39). Alle Versuchspersonen wurden im Anschluss an eine Berufseignungsuntersuchung für die Arbeit im Cockpit im DLR e.V. Hamburg gefragt, ob Sie an einer Studie teilnehmen möchten. Sie erhielten für die freiwillige Teilnahme im Umfang von einer Stunde ein Honorar in Höhe von €15.

Die Daten wurden in einem einfaktoriellen Untersuchungsdesign mit Messwiederholung erhoben. Die unabhängige Variable war die Lichtsituation in dem Lichtlabor. Verschiedene abhängige Variablen, die die Wahrnehmung der Lichtsituation, den persönlichen und den thermischen Komfort betreffen, wurden erfasst.

## 2.1 Lichtlabor

Das Lichtlabor des DLR e.V. Hamburg war so ausgestattet, dass ein Eindruck von einer Flugzeugkabine erzeugt wurde. Zehn Plätze (mit einfacher Bestuhlung) wurden in drei Reihen angeordnet, die vor dem Foto einer mit Passagieren besetzten Flugzeugkabine in Lebensgröße platziert waren. Die Decke wurde ebenfalls so gestaltet, dass sie den Eindruck einer Kabine verstärkte. Das Labor war mit einer High-Power-LED-Anlage ausgestattet, die an den Rändern der eingebauten gewölbten Decke installiert wurde. Diese Positionierung entspricht der in einem Flugzeug. Bild 2 zeigt das Lichtlabor.



BILD 2. Versuchspersonen im Lichtlabor Hamburg des DLR e.v. <sup>1)</sup>

## 2.2 Lichtszenarien

Den Probanden wurden sechs Lichtszenarien mit unterschiedlicher Farbigkeit und eine neutrale Lichtsituation vorgegeben. Die Auswahl der Szenarien erfolgte entsprechend der Hypothesen für diese Fragestellung. Basierend auf einer Literaturanalyse sind drei Blau- (B1 bis B3) und drei Gelbtöne (G1 bis G3) herangezogen worden. Die Blautöne wurden eingesetzt, um kühleres Temperaturempfinden zu bewirken, die Gelbtöne entsprechend um einen wärmeren Eindruck zu vermitteln. Alle Farbtöne sollten zusätzlich einen angenehmen

Eindruck bewirken. Für ein neutrales Lichtszenario (N) wurde ein Tageslichtweiß gewählt.

Die Tabelle 1 zeigt die RGB Werte, die in der eingesetzten Software eingestellt wurden sowie die gemessenen Wellenlängen und die Helligkeit - erfasst mit einem Spektroradiometer pro Szenarium.

TAB 1. Lichtszenarien mit gemittelten RGB-Werten, Wellenlänge und Helligkeitswerten

Licht-szenario	R	G	B	Wellenlänge (nm)	Helligkeit (lux)
G1	255	165	0	603,27	141,77
G2	255	197	0	595,48	166,70
G3	200	169	0	592,00	120,73
B1	130	235	255	496,68	183,16
B2	85	222	255	486,92	159,68
B3	64	156	255	477,56	99,63
N	255	255	242	527,92	239,47

Legende: RGB zwischen 0-255. G: Gelb; B: Blau; N: Neutral.

## 2.3 Fragebogen

Die Versuchspersonen beantworteten nach jedem Lichtszenario Fragen zu ihrem Erleben auf einem Handheld (HP iPAQ214, 4" TFT).

Der erste Teil des Fragebogens bezog sich auf die demographischen Daten. Im zweiten Teil wurden mehrere Skalen zum Erleben der Situation vorgegeben. Gefragt wurde nach der Wirkung des Lichts und der Lichtfarbe sowie der Helligkeit und der Farbtemperatur. Außerdem wurde das Erleben des Raumklimas erfasst. Hierzu gab es Fragen in Bezug auf die Temperatur, die Luftqualität, die Stärke des Luftzugs und die Luftfeuchtigkeit. Erfasst wurde jeweils die Einschätzung zur Ausprägung des Parameters und die Zufriedenheit mit dem Parameter. Der Fragebogen zum thermischen Komfort ist bereits im Hinblick auf seine Testgüte und Validität erprobt [9, 10, 11].

## 2.4 Untersuchungsablauf

Das Experiment wurde in sechs Sitzungen mit jeweils 10 Versuchspersonen (eine Sit-

<sup>1)</sup>© Jan Brandes / Luftfahrtcluster Metropolregion Hamburg

zung mit 9 Personen) durchgeführt. Jede Erhebung begann mit einer standardisierten Instruktion zum Ablauf und zur Nutzung der Handhelds.

Nachdem die Versuchspersonen die demographischen Daten eingegeben hatten, wurden die Lichtszenarien präsentiert. Die Reihenfolge der Szenarien variierte über die sechs Gruppen hinweg. Jede Lichtfarbe wurde für 90 Sekunden präsentiert. Nach dieser Darbietungszeit wurden die Versuchspersonen gebeten, ihre Einschätzungen auf dem Handheld einzutragen, wobei die Lichtfarbe weiter einwirkte. Insgesamt betrug die Expositionszeit pro Lichtszenario im Mittel 5,5 Minuten. Bevor eine neue Lichtfarbe präsentiert wurde, war für eine halbe Minute ein Tageslichtweiß zu sehen, um den Farbeindruck zu neutralisieren. Dieses Vorgehen setzte sich fort, bis alle sechs Farbtöne bewertet waren. Anschließend wurden 8 Grundfarbtöne vorgegeben, zu denen lediglich eine Einschätzung der Farbtemperaturwirkung abgefragt wurde. Dieser Teil der Erhebung wird hier nicht weiter behandelt.

Die Versuchspersonen wurden gebeten, aufrecht zu sitzen und sich nicht zu unterhalten. Die Temperatur im Raum, die Luftgeschwindigkeit und die Luftfeuchtigkeit wurden während des Experiments nicht variiert. Im Durchschnitt betrug die Temperatur im Raum 23,2°C und die mittlere relative Luftfeuchtigkeit lag bei 62%. Die Außentemperatur betrug zwischen 15,3°C und 22,9°C.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1 Bewertung der Lichtszenarien

##### *Farbtemperatur*

Zunächst wird der Mittelwertvergleich für die untersuchten Lichtszenarien hinsichtlich der Einschätzung der Farbtemperatur vorgestellt. Die Farbwirkung ist signifikant unterschiedlich ( $F_{(2,96)} = 79,99$ ;  $p \leq .01$ ). Gelb (G1 bis G3) wird deutlich wärmer eingeschätzt als Blau (B1 bis B3) (s. Tabelle 2).

Die Bewertung der Lichtfarben fällt ebenso statistisch bedeutsam unterschiedlich aus. Die gelben Farbtöne werden im Hinblick auf die Temperaturwirkung als angenehmer bewertet ( $F_{(3,21)} = 4,07$ ;  $p \leq .01$ ; s. Tabelle 3).

TAB 2. Farbtemperatur-Einschätzung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
MW	5,38	3,02	4,95	2,78	5,07	2,64
SD	,95	1,30	1,19	1,35	1,04	1,53

Legende: 1 = sehr kalt 4 = neutral 7 = sehr warm

TAB 3. Farbtemperatur-Bewertung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
MW	3,40	3,12	3,19	2,79	3,10	2,66
SD	1,10	1,05	,973	1,24	1,05	1,12

Legende: 1 = unangenehm 3 = neutral 5 = sehr angenehm

Da sich die Helligkeit der Lichtszenarien als Faktor zeigt, der den Einfluss der Lichtfarbe auf die Temperaturwahrnehmung eventuell überstrahlt (s.u.), wurden zusätzlich Analysen mit einem Kovariatentest für Helligkeit durchgeführt. Es zeigt sich, dass die statistisch bedeutsamen Unterschiede für die Lichtfarben Blau und Gelb bestehen bleiben (Farbtemperatur-Einschätzung:  $F_{(5; 346)} = 62,88$ ;  $p \leq .01$ ; Farbtemperatur-Bewertung:  $F_{(5; 346)} = 3,24$ ;  $p \leq .01$ ). Die ermittelten Effekte beziehen sich auf die Wirkung des Parameters Farbtemperatur ohne Einfluss der Helligkeit.

##### *Helligkeit*

Wie bereits angeführt fallen die Einschätzungen der Helligkeit der Farben für die Lichtszenarien bedeutsam unterschiedlich aus ( $F_{(4,22)} = 7,49$ ;  $p \leq .01$ ; s. Tabelle 4). Es liegt jedoch kein eindeutiger Effekt für die beiden Farbtöne Blau und Gelb vor sondern es finden sich differenzierte Effekte für die einzelnen Bunttöne. Blau 1 wird als hellste Farbe eingeschätzt, während Blau 3 den dunkelsten Eindruck vermittelt.

Auch die Helligkeitsbewertung fällt für die untersuchten Lichtfarben signifikant unterschiedlich aus ( $F_{(3,66)} = 2,73$ ;  $p \leq .05$ ; s. Tabelle 5). Wiederum liegt kein eindeutiger

Farbeffekt vor. Hier zeigt sich, dass der am dunkelsten bewerteten Blauton auch den geringsten Wert der Zufriedenheit erhält.

TAB 4. Helligkeit-Einschätzung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	3,19	3,41	2,88	2,95	3,02	2,78
<b>SD</b>	1,12	1,11	1,14	1,26	1,12	1,17

Legende: 1 = sehr unangenehm 3 = neutral 5 = sehr angenehm

TAB 5. Helligkeit-Bewertung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	3,19	3,41	2,88	2,95	3,02	2,78
<b>SD</b>	1,12	1,11	1,14	1,26	1,12	1,17

Legende: 1 = sehr unangenehm 3 = neutral 5 = sehr angenehm

### 3.2 Bewertung der Klimaparameter im Raum

#### Raumtemperatur

Die Temperatur im Raum wird deutlich kälter eingeschätzt, wenn blaue Szenarien wirken und wärmer, wenn gelbe Szenarien vorgegeben werden ( $F_{(3,67)} = 16,95$ ;  $p \leq .01$ ; s. Tabelle 6). Die Raumtemperaturbewertung liegt jedoch für alle Lichtfarben im gleichen Bereich von mittlerer Zufriedenheit ( $F_{(3,85)} = 0,94$ ; n. s.; s. Tabelle 7).

Die Ergebnisse von Varianzanalysen mit der Kovariate Helligkeit zeigen statistische Bedeutsamkeit in gleicher Ausrichtung (Raumtemperatureinschätzung:  $F_{(5; 346)} = 11,42$ ;  $p \leq .01$ ; Raumtemperaturbewertung:  $F_{(5; 346)} = 0,82$ ; n. s.). Die berichtete Wirkung der Lichtfarben ist damit auf den Faktor Raumtemperatur zurückzuführen.

TAB 6. Raumtemperatur-Einschätzung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	4,74	3,97	4,69	3,91	4,81	3,86
<b>SD</b>	0,87	1,11	1,08	1,23	0,83	1,15

Legende: 1 = sehr kalt 4 = neutral 7 = sehr warm

TAB 7. Raumtemperatur-Bewertung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	3,29	3,19	2,97	3,17	3,19	3,07
<b>SD</b>	1,04	1,03	1,06	1,11	,93	,92

Legende: 1 = unangenehm 3 = neutral 5 = sehr angenehm

*Luftzug, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität*  
Für den Luftzug, die Luftfeuchtigkeit und die Luftqualität zeigen sich keine bedeutsamen Effekte in Abhängigkeit von der Lichtfarbe.

#### Raumklima

Das Raumklima wird bei blauem Licht insgesamt nicht anders bewertet als bei gelbem Licht ( $F_{(3,11)} = 2,35$ ; n. s.; s. Tabelle 8). Somit gilt für alle Lichtszenarien ein gleich hoher eher mittlerer Gesamtkomfort. Auch bei Kontrolle des Faktors Helligkeit zeigt sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied ( $F_{(5; 346)} = 1,04$ ; n. s.).

TAB 8. Raumklima-Bewertung

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	2,90	3,03	2,62	2,88	2,64	2,76
<b>SD</b>	0,87	1,04	0,88	1,06	0,93	0,96

Legende: 1 = sehr unangenehm 3 = neutral 5 = sehr angenehm

#### Psychisches und Physisches Wohlbefinden

Es liegen keine statistisch bedeutsamen Unterschiede im psychischen und physischen Wohlbefinden für die Lichtszenarien vor. Die Mittelwerte belegen ein mittleres Wohlbefinden.

Für blaues Licht zeigt sich lediglich tendenziell eine höhere Wachheit ( $F_{(5)} = 2,17$ ; n. s. s. Tabelle 9) und eine höhere Leistungsfähigkeit ( $F_{(3,44)} = 2,93$ ;  $p \leq .05$ ; s. Tabelle 10) als für gelbe Szenarien.

TAB 9. Psychisches Wohlbefinden - Wachheit

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	2,76	3,05	2,81	3,06	2,70	2,96
<b>SD</b>	0,89	1,07	1,02	1,03	0,86	1,12

Legende: 1 = gar nicht bis 5 = völlig

TAB 10. Physisches Wohlbefinden - Leistungsfähigkeit

	G1	B1	G2	B2	G3	B3
<b>MW</b>	2,74	3,01	2,43	2,76	2,74	2,68
<b>SD</b>	0,96	1,06	0,90	1,15	0,85	0,99

Legende: 1 = gar nicht bis 5 = völlig

Auch bei Kontrolle des Faktors Helligkeit bestehen lediglich Tendenzen in den Mittelwertunterschieden (Wachheit:  $F_{(5; 346)} =$

1,24; n. s.; Leistungsfähigkeit:  $F_{(5; 346)} = 1,84$ ; n. s.).

#### 4. DISKUSSION

Das Ziel dieser Studie bestand in der Analyse der Wirkung von Lichtfarben auf die subjektive Wahrnehmung von Raumtemperaturen. Den Hintergrund für diese Studie bildet die Ausstattung moderner Flugzeugtypen mit neuer Lichttechnologie. In der Kabine kann dort mit aktueller Lichttechnik farbiges Licht eingesetzt werden, so dass die Lichtfarbe als Komfortparameter auf einem Reiseflug genutzt werden kann. Durch die Wirkung von farbigem Licht auf das Temperaturempfinden bietet sich die Möglichkeit Komfort und Energieverbrauch in der Kabine zu optimieren. Da mit dieser Studie zunächst die grundlegende Wirkung von farbigem Licht auf das Empfinden von Personen geprüft wurde, sind die folgenden formulierten Hypothesen getestet:

- 1) Farbiges Licht hat einen Einfluss auf das Wohlbefinden. Gelb und Blau wirken positiv.
- 2) Farbiges Licht wirkt auf das thermische Empfinden: Blau bewirkt kühleres Temperaturempfinden, Gelb wärmeres Temperaturempfinden.

Die ermittelten Ergebnisse belegen zunächst, dass bedeutsame Unterschiede im Wohlbefinden für die getesteten Lichtfarben nur für die Bewertung der Lichtparameter Farbtemperatur und Helligkeit zu verzeichnen sind. Für die Klimabewertungen und in dem Bereich des psychischen und physischen Wohlbefindens zeigen sich keine bedeutsamen Unterschiede. Um einen überstrahlenden Effekt der Helligkeit der eingesetzten Lichtfarben auf die untersuchten Effekte zu kontrollieren, wurden Analyse mit Faktor Helligkeit als Kovariate berechnet, die die Ausrichtung der Ergebnisse bekräftigen. Gelbes und blaues Licht wird gleich angenehm - mit einem mittleren Wohlbefinden - bewertet. Die Hypothese 1) ist mit Einschränkung bestätigt.

In diesem Zusammenhang ist, um einen möglichen Einfluss von blauem Licht auf die Melatoninausschüttung zu berücksichtigen, besonders hervorzuheben, dass die blauen Lichtfarben sich nicht signifikant aber tendenziell aktivierender auswirken als gelbe Töne. Die Mittelwerte der Skala Wachheit liegen dabei für alle Lichtszenarien in mittlerer Höhe vor.

Ein stark aktivierender Effekt durch blaues Licht korrespondierend zur Melatoninsuppression betrifft die Wellenlänge von etwa 460 nm und erreicht einen Höhepunkt vor allem nach Mitternacht.

Für die hier gewählten Wellenlängen und die Tageszeit waren keine starken Aktivierungseffekte zu erwarten [1, 15].

Um die Hypothese 2) zu prüfen, wurden Varianzanalysen zum Vergleich der Lichtfarben im Hinblick auf die Farbtemperaturwirkung berechnet. Es zeigt sich, dass die Farbtemperatur von Blau als deutlich kühler eingeschätzt wird als die von Gelb. Wie beschrieben wurde der Faktor Helligkeit auch in diesen Analysen kontrolliert, so dass die ermittelten Unterschiede tatsächlich auf die Farbwirkung zurückzuführen sind. Besonders positiv ist das Ergebnis für den Vergleich der Raumtemperatureinschätzung zu bewerten. Bei blauer Lichtwirkung wird die Raumtemperatur von den Versuchspersonen als kühler eingeschätzt als bei gelbem Licht. Die Wahrnehmung der Raumtemperatur hängt also tatsächlich von der Lichtfarbe ab. Damit zeigt sich, dass die Lichtfarbe nicht nur auf die Temperaturwahrnehmung des Lichts sondern auch auf die Temperaturwahrnehmung des Raumes einwirkt und so Einfluss auf eine andere Sinnesempfindung nimmt. Für die Einschätzung der Helligkeit wurde wie berichtet ein bedeutsamer Effekt durch die Lichtfarben ermittelt. Er konnte jedoch als Effekt auf die Einschätzung der Temperaturwirkungen des Lichts separiert werden.

Die vorgelegten Ergebnisse können in der Gesamtsicht als Bestätigung des „Farbton-

Wärme-Effekts (s. [8]) und damit als Beleg der Hypothese 2) verstanden werden. Somit wurden entsprechend der Zielsetzung dieser Studie Lichtfarben identifiziert, die ähnlichen Komfort aber unterschiedliches thermisches Empfinden bewirken.

Begrenzungen dieser Studie bestehen vor allem durch die gewählte Untersuchungssituation im Labor. Diese kann keine realen Flugsituationen simulieren. Die Flugzeugkabine erzeugt durch die spezifische Architektur, spezielle Klimatisierung (Mischbelüftung) und die Flugsituation besondere thermische Bedingungen. Die Gültigkeit der ermittelten Ergebnisse für Flugsituationen muss geprüft werden. Ein erster Schritt zur Erweiterung der externen Validität, wird

innerhalb des Projektes LiKab darin bestehen, die Lichtszenarien, die sich am deutlichsten bewährt haben, in einem Kabinen-Mock-Up mit Variation des Klimas von Versuchspersonen bewerten zu lassen. Dort besteht auch die Möglichkeit, Effekte auf den Energieverbrauch der Klimaanlage zu erfassen.

Zusammenfassend kann hervorgehoben werden, dass die Studie vielversprechende Ergebnisse ausweist, die die Komfortwirkungen für Gelb- und Blautöne sowie deren thermische Wirkung in hypothesenkonformer Weise belegt. Sie bieten damit eine Grundlage für Komfortuntersuchungen mit kontrollierter Variation von Klima und Licht in einem Flugzeug-Mock-Up des DLR e.V. (Do 728).

## 5. LITERATUR

- [1] Budinger, T.; & Vogel, C. (2008). *U.S. Patent No. 0219013 A1*. Westfield, NJ: U.S. Patent and Trademark Office.
- [2] Boyce, P.R. (2003). *Human factors in lighting*. New York: Taylor and Francis, 2nd edition.
- [3] Candas, V. & Dufour, A. (2005). Thermal Comfort: Multisensory Interactions? *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 24, 33-36.
- [4] CEN – European Committee for Standardization (2009). *DIN EN 4618 Aerospace series – Aircraft internal air quality standards, criteria and determination methods*. Brüssel: Beuth.
- [5] Fanger, P. Breum, N. & Jerking, E. (1977). Can colour and noise influence man's thermal comfort? *Ergonomics*, 20, 11-18.
- [6] Frieling, H. & Auer, X. (1956). *Mensch – Farbe – Raum. Angewandte Farbenpsychologie*. München: Verlag Georg D.W.Callwey.
- [7] Gage, J. (1999). *Colour and meaning*. London: Thames and Hudson.
- [8] Heijs, W. & Stringer, P. (1988). Research on residential thermal comfort: Some contributions from environmental psychology. *Journal of Environmental Psychology*, 8, 235-247.
- [9] Marggraf-Micheel, C. & Jager, 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.
- [10] 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.
- [11] 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.

- [12] Meier, V. (1996). *Licht und Farbe im Industriebetrieb: Untersuchung des Einsatzes optischer Mittel zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit in der Produktion*. Berlin: Duncker Humblot GmbH.
- [13] Quehl, J. (2001). *Comfort studies on aircraft interior sound and vibrations*. Aachen: Shaker.
- [14] Richter, P.G. (Hrsg.) (2008). *Architekturpsychologie*. Lengerich: Pabst.
- [15] Thapan, K.; Arendt, J. & Skene, D. J. (2001). An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non cone photoreceptor system in humans. *Journal of Physiology*, 535, .261-267.
- [16] Van Hagen, M.; Galetzka, M.; Pruyn, A. & Peters, J. (2009). Effects of Colour and Light on Customer Experience and Time Perception at a virtual Railway Station. In: Y.A.W. de Kort; W.A. IJsselstein; I.M.L.C. Vogels; M.P.J.Aarts; A.D. Tenner & K.C.H.J. Smolders (Eds.) *Experiencing Light 2009 – Proceedings*. Eindhoven: University of Technology.
- [17] Veitch, J.A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of Illuminating Engineering Society*, 30 , 124-140.