Anhang

Faktor LICHT in der Passagierkabine-
-Wahrnehmung , Gestaltung und Ausführung am Beispiel eines Kurzstreckenflugzeuges

Prof. Werner Granzeier
iDS Industrial Design Studio Hamburg

1. Einführung

In allen Flugzeugkabinen erfüllt der Gestaltungsfaktor LICHT entscheidende Aufgaben für die ergonomischen, funktionalen und psychologischen Anforderungen Durch neue Rumpfstrukturen, neue wirtschaftliche und komfortbetonte Kabinensysteme wird eine marktfähige und ergonomisch akzeptabele Kabinen-konzeption.
Ein weiteres wesentliches Kriterium der neuen Flugzeug Generationen ist die Unterstützung des Sicherheitsempfindens und Akzeptanz durch die Passagiere jeglichen Alters.

Die Lösung dieser Fragen nach der kann durch den gestalterisch optimierten Einsatz der Leuchtmittel im Kabinen- und Cockpitbereich umfassend gelöst werden.

Im Rahmen bisheriger Kabinenentwicklungen und –gestaltungen können grundlegende Kriterien genannt und nach-gewiesen werden.

Die Basis für dieser Erfahrungen bilden realisierte Kabinen für Airbus A320, 318,319,321 sowie Boeing B 717 und Fairchild Dornier 728/928

2. **LICHT** in der Passagierkabine

2.1 Design Grundlagen für das Kriterium LICHT:

- Ergonomischer Höchststandard für alle MMS (Mensch-Maschine-Schnittstellen) unter Berücksichtigung der Wahrnehmungsgewohnheiten, Sicherheitsbedürfnisse und psychologischen Verhaltensmuster innerhalb der „Raumröhre".

- Klare und eindeutige Information der Lichtwirkung in der Kabine durch Formen, Flächen, Farben und optimierte Produktgrafik in allen Bereichen

- Höchste Designqualität durch Betreuung der Entwicklung, Konstruktion und Produktion aller Lichtsysteme vom ersten Entwurf bis zur fertigen Kabine.

- Höchster Standard für Akustik und Klimaführung als Ergänzung zum Designfaktor **LICHT** in der Kabine. Erst die optimale Kombination dieser Faktoren fördert den Wohlfühl-Faktor der Passagiere als Bestandteil des Passagierkomforts.

Besondere Schwerpunkte sind Einstieg-Ausstieg Zonen, Notevakuierung, Fensterzonen, Sanitärräume, und Anwendung neuer Kommunikationsmedien in Verbindung mit Beleuchtungskomfort.

Bild 1: Allgemeine Kabinenbeleuchtung

Bild 2: Lichtwahrnehmung in Flughöhe mit zusätzlichen Spots/Leseleuchten

3. Lichtplanung und Layoutkonzepte

Innerhalb eines Gestaltungsprozesses werden aufgrund der technischen, funktionalen und ergonomischen Bedingungen, Vorschriften und Bauanordnungen die Lichtinstallationen geplant. Neben der rein funktionalen Einordnung in die Rumpfstruktur werden alle Aspekte der Auswirkungen auf den Passagierkomfort, die Passagiersicherheit und die Zusammenarbeit Crew-Passagier einbezogen. Diese Vorentwurfsphase wird im „Ergonomic Experimental Mock up" untersucht und in Abstimmung mit Hersteller und Airlines festgelegt.

Bild 3: Experimental Mock up 728 Cabin

3.1 Ergonomic Experimental Mock up

In der weltweiten Transportation Industrie wird immer mehr die komplexe Gestaltung und funktionale Entwicklungen schon in der ersten Designphase in einem „Ergonomic Experimental Mock up" in 1:1 bearbeitet und effizient entschieden.

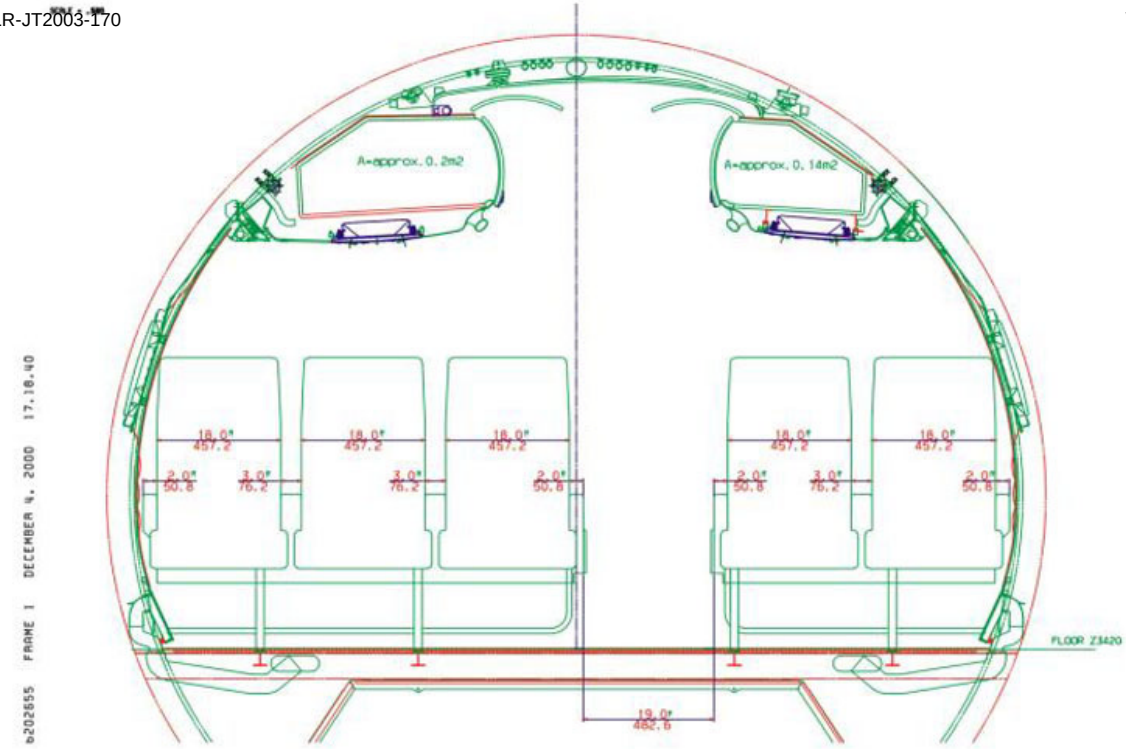


Bild 4: Cross Section Flugzeugkabine

Fotos 3,5 und 6 zeigen Entscheidungsphasen.

Bild 5: Ceilingkonzept 1

Aus dieser Entwicklungsphase zeigen die Fotos 3, 5, und 6 die entscheidenden Designschritte. Bild 5 zeigt eine konventionelle, mehrteilige Ceilingstruktur mit zentraler Lichtanordnung. Diese Anordnung ist mit erheblichem Mehrteileaufwand und umständlicher Montagejustierung verbunden.

Die alternative Lösung zeigt in Foto 6 eine einteilige, strakgekümmte, asymetrische Lichtreflektionsfläche mit nur einer Leuchtröhrenreihe durch die gesamte Kabinenlänge.

Dadurch konnte erhebliches Gewicht und Kosten eingespart werden und die Montage erheblich vereinfacht werden.
Ein skulpturhafte zusätzliche Reflektionszone ergab ein eigenständiges Designmerkmal für die 728/928 Kabine.

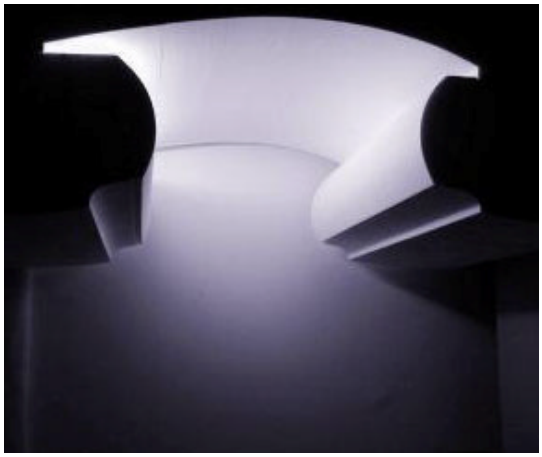


Bild 6 : Ceilingkonzept 2

4. Designkonzepte Interior Lighting

Bei neuen Flugzeugkabinen wird, entsprechend ähnlich der weltweiten Fahrzeugmärkte, die Akzeptanz des Innenraumes durch die Passagiere, und Betreiber (Airlines) zum markt- und designbestimmenden Faktor.

Bild 7 : Licht Design in Virtual Reality Mock up

Bild 8: Entrance Area 728

– Kurzstreckenflugzeug für 70 Passagiere. „Erster Eindruck" aus der Sicht des eintretenden Passagiers.

Die Passagiere der Zukunft erwarten ein komfortbestimmtes Interior mit allen Antworten für die Probleme, Ängste, Wünsche, Forderungen sowie Sicherheitsanforderungen der Passagiere.
Bei den unterschiedlichen Kabinen – Größenordnungen zwischen 50 und bis zu 550 Passagieren zuzüglich Bordpersonal- werden ähnliche und wesentliche Design-kriterien aufgezeigt.
Dabei spielt der technologische Aspekt und die Integration in die Bordsystemstruktur eine zentrale Rolle. Die Balance zwischen optimaler Lichtwirkung, kleinstmöglicher Einbauvolumina, Leichtbaulösungen, wirtschaftliche Kostenstruktur, langer Lebensdauer und nicht zuletzt optimiertem Einbau-Ausbau-Wartung und Service

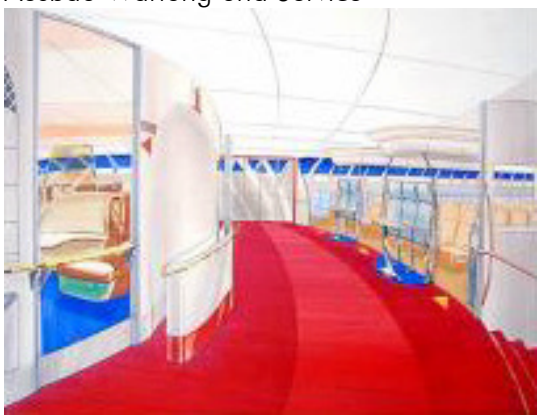


Bild 9: „A20.30 Lobby- Lichtceiling"

im Bereich einer zukünftigen Großraumkabine bei Blended Wing Cabin Konzepzen.

4.1 ENTRANCE AREA - EINSTIEG-AUSSTIEG-NOTAUSSTIEG

Zur optimalen Lösung der entscheidenden Herausforderung des „ersten Eindrucks" in einer neuen Kabine werden entsprechende Leuchtmittel und Designkonzepte eingesetzt.

Im „Empfangsraum" mit Durchgang zum Passagierraum wird der erwartete Informations- und Orientierungsstau durch Passagierkommunikation und Navigation, meistens durch das Bordpersonal, gelöst.

Gleichzeitig werden in Zukunft unterschiedliche Funktionen der Sicherheitsüberprüfung durchgeführt.

4.2 KABINE - SEATLAYOUT

Zu den typischen Herausforderungen des Faktors LICHT bei kundenspezifischen Seatlayouts und die Unterbringung völlig unterschiedlicher Passagiergruppen gehören mehrere Kriterien, wie z.B.:

- Optimale, schlagsschattenfreie Ausleuchtung der gesamten Kabine als Orientierungs-, Sicherheits- und Wahrnehmungshilfe.

- Orientierung, Wahrnehmung und „emotionales Empfangsklima" bei Bording /Debording

- Lichtdesign als wirkungsvollste Maßnahme gegen den Tube Effect – Visuelle Vergrößerung des Raumes durch Lichtwirkungen.

- Licht als emotionale Unterstützung des Wohlbefindens aller Passagiere

- Lichtwirkungen als funktionaler und emotionaler Wirkungsfaktor (Tageslicht-Nachtlicht – Stimmungslicht – Notlicht - Emergency Licht - Bording/Debording)

- Optimale Lichtnutzung durch geringsten Energieeinsatz mittels lichtleitender und reflektierender Flächen.

Bild 10: „Großraum-Kabine mit lichtbetonter Verkehrszone“

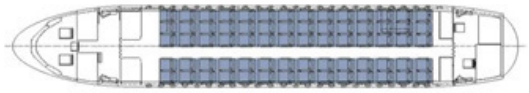


Bild 11 : Typisches Seat Layout eines Kurzstreckenflugzeuges (Beispiel 728)

4.3 INFORMATION-KOMMUNIKATION

Entsprechend dem erwarteten Fortschritt der weltweiten Kommunikationssysteme wird die umfassende Passagierinformation zum wichtigsten Kriterium der Passagier-akzeptanz werden.
Diese neue Passagierkomforts werden immer in Verbindung mit dem Faktor LICHT entwickelt werden.

4.4 REISEN-ARBEITEN-RUHEN

Eine wesentliche Aufgabe der Lichtgestaltung ist die Unterstützung der Passagiere bei den typischen Verhaltensweisen wie Gespräche, Spiele, Lesen, Arbeiten und Catering. Dieser Teil des Lichtdesign hat für Passagiere die größte Bedeutung.

Bild 12: A340 Kabine mit Farbton-Varianten

Bild 13: VIP Kabine mit dezenter Lichtwirkung

Bild 14: Kurzstreckenflugzeug B 717 mit warmen und kalten Lichtwirkungen

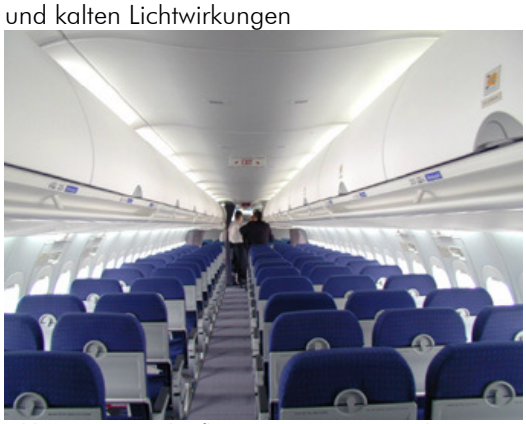


Bild 15: Kurzstreckenflugzeug B 717 mit Airline Corporate Design: Wechselwirkung - Farben – Licht – Wahrnehmung – Beeinflussung

4.4.1 Visuelle Wahrnehmungen

Durch unterschiedliche Lichtfarben, Lichttemperaturen und Helligkeiten (verschiedene Dimmstufen) können erhebliche Beeinflussungen der Stimmungen und Wahrnehmungen aller Passagiere ausgelöst werden.

Diese Möglichkeiten bieten den Airlines ein weites Feld der spezifischen Cabin Corporate Identity, d.h. eine spezielle, airline-typische Wahrnehmung der Kabine im Rahmen der Corporate Identitiy zu erreichen. Dabei sind die Möglichkeiten der Tag- und Nachtlichtgestaltung, sowie in der Kabinen-wahrnehmung am Boden und in Reiseflug-höhe zu berücksichtigen.

Die Auswirkungen der entsprechenden Lichtgestaltung bei Gefahrensituationen sind ein weiteres Feld der ergonomischen Anwendungsforschung

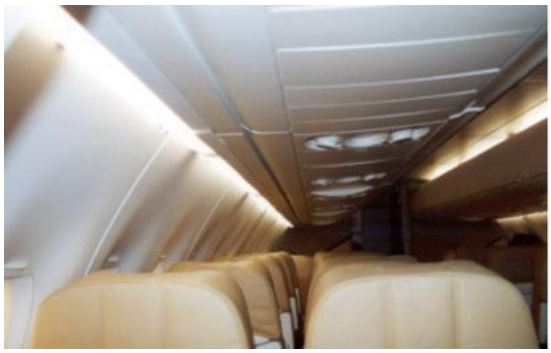


Bild 17a : Sicht aus Augenhöhe des sitzenden Passagiers in Flugrichtung,

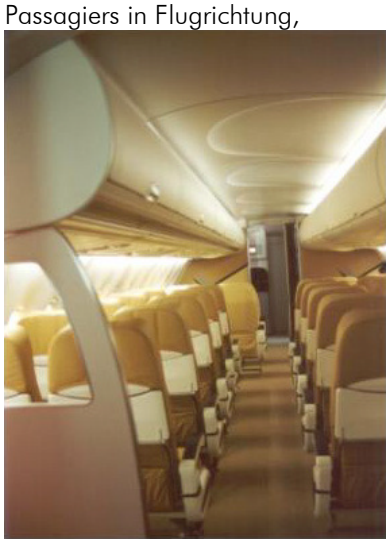


Bild 16: Kurzstreckenflugzeug 728 mit allen Standard Lichtinstallationen

17 b: Sicht des stehenden Passagiers in Flugrichtung

4.4.2 Ergonomische Faktoren für den Passagier

Zu den direkten ergonomischen Faktoren innerhalb der Kabine gehören:

- Blendfreiheit durch indirekte Beleuchtung

- Verhindern von Anfassen, Verbrennen oder Vandalismus

- „unsichtbare" Verschlüsse, verdeckte Installationen und optimale „Glas-Abdeckungen" mit Linseneffect und Streulicht-Funktionen.

- Geeignete Kombination von allgemeinem Kabinenlicht und individuellem Lese-, bzw. Arbeits- oder Cateringlicht.

- Optimiertes Emergency Licht und zusätzliche Lichtwirkungen bei Gefahrensituationen (z.B. Rauchentwicklung) in der Kabine.

- Psychische Ein- und Auswirkungen für alle Passagiere durch situations- oder stimmungsgesteuerte Lichtwirkung, z.B. (Dimmen und Verändern der Farbwirkung)

Bild 18: PSU – Individuallicht für den Passagier: Leseleuchte – Signs – Stweard Call

Bild 18 zeigt die PSU Einheit mit drei Leseleuchten und visuellen Anzeigen innerhalb des gesamten Kabinen-Lichtkonzeptes.

4.4.3 Ergonomische Faktoren für die Bordcrew

In den beiden Entrance Areas, den Galleys und Lavatory Zonen ist eine ergonomische austarierte Lichtgestaltung eine wesentliche Forderung.
Besonders bei Kurzstreckenflugzeugen mit 10 bis12 Turnarounds täglich muß die Lichtqualität den „Arbeitsplätzen" entsprechen.

Die möglichen Nutzungen von allgemeinem Kabinenlicht und genau definiertem Punktlicht für die jeweilige Arbeitssituation bedarf sorgfältiger Untersuchung und vorkonstruktiven Einbaustudien.

Das Foto 19 zeigt die Ausleuchtung des vorderen Attendant Seats durch weiches Punktlicht aus dem Ceiling Panel im Eingangsbereich.

Bild 19: Forward Attendat Seat 728 Cabin

4.5 SANITÄR - U. LAVATORYSYSTEME

Zu den wichtigen Komfortfaktoren aller Flugzeugkabinen zählen Sanitär- und Lavatorysysteme. Bei der maximalen Passagierdichte und der erwarteten Flugdauer von z.T. 16 – 20 Stunden bei Langstrecken sollten höchste Maßstäbe in Komfort, Raumnutzung, Funktion und Reinigung gesetzt werden. Die Lichtwahrnehmungen bekommen höchste Wirkungsfunktion.

Weitere zukünftige Schwerpunkte sind Lavatories für weibliche Passagiere, Urinals, Refrehsment Rooms, Duschen, Relaxräume, und medizinische Betreuungs-Räume.

Innerhalb dieser Räume kommt dem Faktor LICHT eine besondere Bedeutung zu, da ergonomische Funktionen wie Körperreinigung, Schminken, Frisieren, Körperpflege ein besonders sorgfältig eingesetztes Licht verlangen.

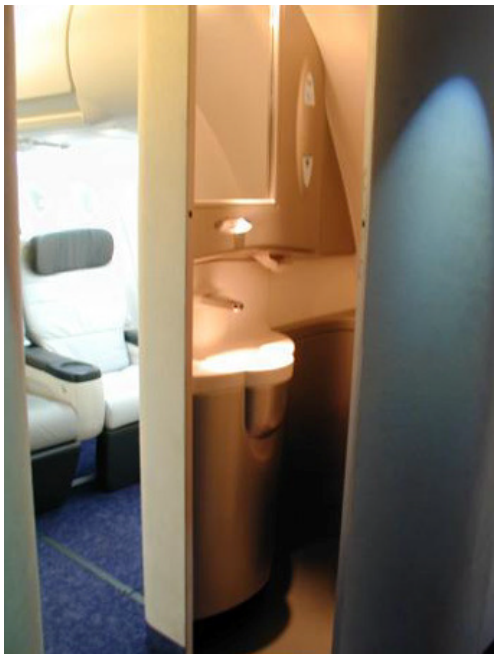


Bild 20: Lavatory 728 Forward mit warm-neutralen Lichtfarbem

Bild 21: 3D-Entwurf Forward Lavatory 728 – Ligthing installations Virtual Reality

Die dadurch erzeugte emotionale Stimmung und Wahrnehmung müssen auch den multikulturellen Ansprüchen genügen.

Bild 22: Entwurf Lavatory – Virtual Reality

Bild 23: „Unterflur Sanitär und Relaxzone mit indirektem, sanften Lichtsystemen " in Large widebody Aircrafts

4.6 MULTIKULTURELLE ASPEKTE in der KABINE

Durch die möglichen neuen Airline-Märkte werden die unterschiedlichen Multi-kulturellen Gruppen und Passagiere ein bedeutender Zuwachs im Passagier-aufkommen werden.

Diese besonderen Gruppen, u.a. auch religiöse und ethnische Gruppen erfordern besondere Berücksichtigung in den Interior Licht– Designkonzepten.
Nicht zuletzt sind variabele Kabinenfarben und wechselbare Licht- und Dekor-funktionen sinnvolle Umfeldfaktoren nicht nur für die genannten Gruppen, sondern für alle Menschen an Bord.

5. INDUSTRIAL DESIGN KONZEPT

Die Grundlage innerhalb eines Designkonzeptes für eine neue Kabine bilden genaue Analysen des Marktes, Vorgaben der Kunden, Vorschriften der

Zulassungsbehörden, Requirements des Herstellers sowie Abschätzung der zukünftig möglichen Szenarien.
Dabei spielen die technischen Möglichkeiten und Standards ein erhebliche Rolle. So sind für neue, innovative Ideen die bekannten alltäglichen Fragen der Ersatzteilversorgung mit Standard Leuchtstoffröhren realistische Umfeldfaktoren.

In enger Zusammenarbeit mit den kooperierenden Firmen entstehen zunächst Visionen und Annahmen für neue Kabinen-Lichtkonzepte.

Daraus folgende Empfehlungen werden anhand folgender Kriterien geprüft :

- Definition nach FAR/JAR 25
- Eindeutige und klare Baustrukturen und optimierte ergonomische Funktionen
- Ergonomische Farb- und Oberflächen-definition im Abgleich mit Lichtinstallation und Wirkung aller lichtleitenden Flächen.
- Kundenspezifische Lichtgestaltung
- Integration aller zukünftigen Kommunikationsmedien im Rahmen eines Lichtkonzeptes

5.1. Designkriterien KABINE:

Bild 24: Lichtdesign Entrance Area (Virtual Reality)

- Eindeutige und formal ansprechende Lichtsituation im EXIT/Empfangs- und Ausgangsbereich
- Klare und eindeutige Betonung der Bauteilstruktur und lichtorientierter Oberflächengestaltung in der Kabine
- Visuell vergrößertes Raumempfinden und heller, freundlicher Kabineneindruck aufgrund des Lichtkonzeptes
- Gegenmaßnahmen zu dem bekannten „Röhren- oder Tunneleffekt" durch Licht.
- Integration aller sichtbaren Fugen-strukturen, Bauteilbilder, Kanten, Ecken und Baugruppen unter Berücksichtigung der Lichtwirkung und -wahrnehmung.
- Optimierte Lichtgestaltung zur Unterstützung des Passagierkomforts
- Airline und Hersteller CI durch alle Möglichkeiten der Lichtinstallation.
- ergonomisch optimiertes Licht und Funktionen für Passagiere und Service-Personal
- Höchster Passagierkomfort für Lavatories, insbesondere für Handicapped – und Rollstuhlfahrer Passagiere durch ergonomisch qualifizierte Lösungen.
- Optimierte Arbeitsbedingungen für Galley
- Wartung, Service und Reinigung und Ersatzteilmontage für Kurz-strecken-Turnaround optimiert.
- Erweiterte Customizing Angebote durch individuelle Designlösungen

Bild 25: Ceiling und Exit Door Situation 728/928

5.1. Licht-Systeme in Rumpf und Kabine

- Definition aller Punkte und Schnittstellen zu Verkleidungsteile/Baugruppen, Klima, Licht, Elektrik, PSU und Fenster anbindung
- Berücksichtigung der variablen Layout-anordnung im System der Strukturstützen im Kabinenraum
- Cross Section und Montagepunkte/ Schnittstellen für Einbau und Wartung optimiert.

6. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Neue Lichtssyteme wie LED, Leuchtfolien, Lichtprojektionen und spezielle Oberfächen sind neue Generationen der Lichtinstal-lationen in Flugzeugkabinen.

Daneben wird immer mehr an klassischen Forderungen gearbeitet werden:
- Verminderter Reinigungsaufwand und Instandhaltung
- Verlängerte Serviceintervall
- Kürzeste Reparaturzeiten bei niedrigem Ausführungslevel mit zukünftig möglichen Dialog-Funktionen zum Hersteller

7. Referenzen

- Unterlagen und Dokumentationen der gemeinsamen Kabinenentwicklung Fairchild Dornier 728 (Herr Wolfgang Reuter)

- Vorlesungsskripte der HWA Hamburg, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, Prof. W. Granzeier, 4/03

- Designdokumentation BOEING 717, BOEING Long Beach und FACC-FISCHER, Ried Österreich /1995-97

- Blended Wing Body Cabin Study AC20.30, Workshop der TU München und HAW Hamburg, 2002

- Unterlagen und Technische Informationen der Firmen HELLA und DIEHL.

8. Bilder

Fairchild Dornier, Wessling,
Realtime AG, München

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT – LILIENTHAL-OBERTH E.V.
Wissenschaftlich - Technische Vereinigung

Auszüge aus dem Programm des Deutschen Luft- und Raumfahrtkongresses 2004

Kabine I

Numerische und experimentelle Strömungsuntersuchungen in idealisierten Flugzeugkabinen

Genese von Luftkrankheit und Flugangst in Blended Wing Body Konfigurationen

Sanitärbereich - Neue Konzepte in der Flugzeugkabine

Kabine II

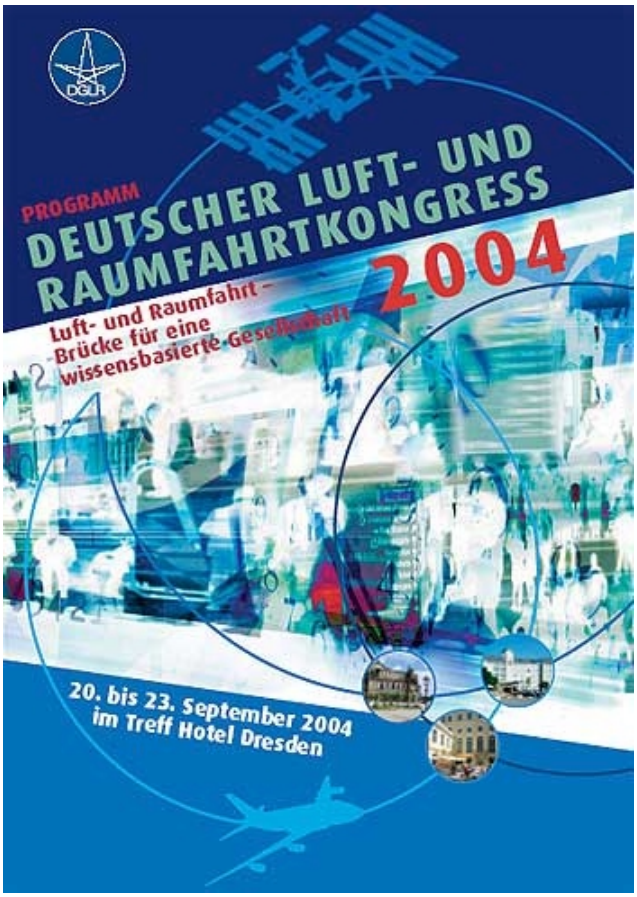
Evolution of Payload Systems - Air Travel in the 21st Century

Comfort in the Sky - An interdisciplinary approach towards cabin comfort innovations

From medical requirements to engineering solutions. Die Berücksichtigung von luftfahrtmedizinischen Erfordernissen in der Airbus Produktentwicklung

Sustained Engine Imbalance -
neue Anforderungen an Fluggastsitze

Dynamische Zulassung von Fluggastsitzen



Numerical and experimental flow studies of idealized aircraft cabins

G. Günther[1], J. Bosbach[1], J. Pennecot[1], C. Wagner[1], T. Lerche[2], S. Repp[2]

[1]German Aerospace Center (DLR), Institute of Aerodynamics and Flow Technology,
Bunsenstr. 10, 37073 Göttingen, Germany

[2]Airbus Deutschland GmbH, Environmental Control Systems,
Kreetslag 10, 21129 Hamburg, Germany

Summary: *For two different types of cabins of modern mega liners, passenger cabins and sleeping bunks, generic configurations have been investigated numerically by means of Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) computations and experimentally by particle image velocimetry (PIV) as well as thermography.*
In order to study the flow of fresh air along the luggage compartment, the real aircraft cabin has been reduced to the wider region around this compartment. From the crew rest compartments one single person sleeping bunk was considered. Comparisons between computations and measurements indicates that higher value low Reynolds number turbulence models are suited best to predict the complex 3D flow with separation.

Keywords: *Digital human, CFD, PIV, indoor flow*
Category: *Ventilation in cabins of vehicles*

1 Introduction

Confined mixed convection flows are of essential importance for a variety of practical applications like e.g. air-supply in offices or residential buildings, the cooling of micro-electronic devices, and the air conditioning of vehicle and aircraft cabins. The numerical prediction of such flows by means of computational fluid dynamics (CFD) opens up the possibility to optimise the design of configurations, while excessive prototyping can be prevented. One key issue during this task is the selection of the right method for turbulence modelling. Systematic comparative studies reveal large deviations between turbulence models when it comes to the quantitative description of mixed convection flows [1,2]. For cooling applications, especially the effect of flow reversal due to premature separation of the cooling wall jet is of importance [3]. Incautious use of inappropriate turbulence models in such configurations might prevent even the qualitative prediction of the flow direction [2]. Currently, significant research is performed in order to improve the predicting capabilities of CFD methods with respect to airflow and temperature distribution inside the aircraft cabin. MIZUNO and WARFIELD modified a CFD program to add capabilities of computing thermal effects and contaminants dispersion and treating the influence of obstructions such as passenger seats in aircraft cabins [4]. 3D-CFD computations in an aircraft fuselage section were also performed by SINGH et al. using a commercial software package [5].

Our study intends to understand the airflow and its effect on thermal comfort [15][16] in aircraft passenger cabins and sleeping bunks through numerical simulations and its experimental validation by PIV/thermography. This deeper understanding could help to support further improvements of thermal comfort in transport vehicles, especially mega liners. Fig. 1 shows in the center the cross section of a modern mega liner with passenger cabins at two levels and bunks at the level of the cargo bay. On the left hand side the CAD representation of an idealized sleeping bunk and it's mock up (below) can be seen. The right hand shows the same for idealized passenger cabin.

2 Idealized sleeping bunk

2.1 Configuration

From the crew rest compartments with up to 12 bunks one single person sleeping bunk was considered. For the experimentally investigated mock up the geometry was further simplified to a box of 0.60 m to 0.68m height, 1.98 m length and 0.48m to 0.55m width. The inflow slot was of size 1.59m x 15 mm and the outflow slot of 1 m x 80 mm. The air enters the mock up horizontally; see fig. 1 and fig. 2.

2.2 Numerical simulation

The RANS computations were performed with the commercial CFD code `StarCD` on a hybrid grid of tetras and prisms containing 381614 points and 11954505 volume elements, Fig. 2, 3. The smallest wall distance was chosen to achieve a dimensionless wall distance $y+ < 1$. Because flow separation and vortices determine the flow, the Shih cubic low Reynolds k-ε turbulence model [12] was applied. The inflow velocity was 0.78 m/s at 15% turbulence intensity with a turbulent length scale of 1.5 mm. The heat release of the sleeping digital human was assumed to be 90 W in total, DIN 1946 [14]. At room temperature (23 C) this heat release is transported by nearly equal part by convection, radiation and transpiration [14]. The convective

heat release was set to 27.8 W, the radiation heat release to 26.95 W. The assumption of an isotropic heat release of the naked human body is supported by the ability of the blood to transfer 130 W to the extremities at minimum heartbeat. The simplest radiation model was applied: The radiation from the digital human is transferred isotropic and directly to the bunk walls. Because of this the convective heat flux was modelled as a constant flux of 21.67 W/m² at the surface of the digital human. The radiation heat flux was modelled as a constant flux of 5.4 W/m² at the bunk walls. The flux results directly by dividing the corresponding heat release and the surfaces. The latent heat transport was not considered directly.

The constant heat flux simulation also has the advantage that it's results are more easy to interpret than those of a constant surface temperature simulation, because airless of drought areas can be identified directly by the surface temperature. The computation was performed to converge to less than 1% error of the enthalpy balance to insure a converged temperature distribution. The inflow temperature was 20 C and the mean outflow temperature 23 C. The flow field is determined by a large convection vortex originating at the inflow slot, fig. 4. Separation of the injection jet occur at a run length of 0.53 m with reattachment at the long sidewall in front, fig. 6. The computation discovered a secondary flow from the foot to the head region at the ground plate; the orientation is reversed at the top plate. This secondary flow is caused by the shortened inflow/outflow slot with respect to the bunk length.

2.3 Experiment

In the experiment the flow was driven by suction to the outlet. The flow rate of 15 l/s was provided by a PIV calibrated tuneable fan at the end of a 2m long nozzle. Experiments with human test persons, fig. 7, 9, and a thermo dummy, fig. 5, providing 60 W of feel able heat were performed. The thermo dummy was a kind of mannequin in sleeping position providing a constant heat flux. The constant heat flux mode was described in [15] to be very stable and convenient to apply compared to constant surface temperature or comfort equation mode. The constant heat flux method also has the advantage to be easily interpreted. The mock up was insulated to be near adiabatic and pre heated for at least one day with the thermo dummy. Measurements were taken at steady state with respect to the enthalpy balance.

The thermography pictures where taken from the top of a 3 m boom in 2 sub domains, fig. 9. A longer boom of 4.5 m produced a wider field of view but a too poor special resolution because the infrared camera had only 257x207 pixels. For the determination of the velocity fields acryl glass windows in top and front plane were used and the incoming air was seeded with small tracer particles of oil. The pulses of a water-cooled Nd:YAG double oscillator (Brilliant Twins, Quantel) with a pulse energy of 350 mJ and a pulse duration of 5 ns was coupled into the mock-up through the top aryl glass window and shaped into a light sheet by a cylindrical lens. A telescope consisting of two spherical lenses could adjust the thickness of the light sheet. With a first laser pulse, the particles inside the light sheet were illuminated, and their scattered light was recorded by a CCD-camera Camera (Sensicam QE, PCO) with an actively cooled CCD-sensor and a spatial resolution of 1378 x 1040. The camera was used in combination with an 85 mm lens with an aperture of 1.4. After 15 milliseconds, a second laser pulse illuminated the droplets, and a second picture of the particles was recorded. The double images were recorded at rate of 2.5 Hz The local displacement of the particles between the two pictures is a measure of the local velocity of the air flow and can be determined with high accuracy by local cross-correlation algorithms [11]. The time averaged velocity fields were obtained as the mean of 500 instantaneous velocity fields.

2.4 Comparison between experiment and computation

Fig. 4, 5 show a very good agreement between the CFD and PIV in plane velocity fields. Only the vortex in the left most plane is underestimated by CFD. This also holds for fig. 6, 7 if the geometric difference between the bunks / (digital) persons is taken into account. The PIV measurements lack of spatial resolution at the top plate, because the resolution was just 7.5 mm (half the injection jet height), at an interrogation window size of 24x24. Additional the field of view was not covering the whole cross section at the head to center region. The secondary flow from the foot to the head region at the ground plate discovered by CFD, which is of course invisible in the in plane velocity distribution, was confirmed by smoke visualisation experimentally. The temperature distributions at the ground plate and the (digital) human body of the computation, fig. 8, and the thermography, fig. 9, are quite comparable if we consider that the digital human was naked and the real human was fully dressed with naked arms and head. In the CFD result the right arm and leg are colder because of the stronger ventilation. This also holds for the experiment but the level is lower because of the regulating capacities of the human body. Because clothes insulated most of the body of the test person the naked arms released more heat than they would release if the body would be fully naked. This increased heat flux is also described in the literature [14] and can reach the double mean value at the head. In the minimal ventilated region of the armpit and the lower pelvis CFD over predicts the temperature for the reason that the assumption of a constant convective/-radiation heat flux is no more

valid since the ratio of the transpiration heat is significant higher in this region.

3 Idealized passenger cabin

3.1 Configuration

For the passenger cabin investigations the complex geometry of the aircraft cabin has been simplified to a generic case. We focused on the flow along the luggage compartment and close to the air inlet. As a consequence, only a part of the real aircraft cabin was modelled by the mock-up, see Fig. 1. The cabin itself has been reduced to a box of height 1.35 m, length 3.43 m, and width 2.0 m. Both, the computational domain and the mock up have been realized in full scale. The air enters the mock-up horizontally through three slot-shaped air inlets, which supply in total 40 l/s of air through slits with length 1.01 m and width 10 mm each. They are located regularly along the mock up 11 mm below the luggage compartment. The separation between the inlets amounts to 125 mm. The air outlet is located below the air inlet at the ground level of the mock-up. It spans over the whole length of the mock-up and has a width of 50 mm, see fig. 1, 10.

3.2 Numerical simulation

In order to limit the needed computational time, the simulations were performed for a sub domain of the whole model. Since the mock up is ventilated by three regularly spaced nozzles, the domain can be separated into three cells of equal size in which the flow is induced by one nozzle, see fig. 12, 11. Assuming that the flow within each cell is weakly influenced by the flow in the neighbouring cells, only the central cell was taken into account. It is symmetric; therefore it can be further reduced to one half of the cell (i.e. one sixth of the full domain) using symmetry boundary conditions, see fig. 10.

Three different groups of turbulence models where investigated:

- The low Reynolds number k-ε turbulence models for which the transport equations for the turbulence quantities are the same for the whole domain.
- The high Reynolds number k-ε turbulence models with wall functions for which the cross velocity and turbulence profile along the walls are given in terms of the normal distance to the wall. Those models are consequently poorly tailored to the case of jet separation.
- The two layer k-ε turbulence models where the transport equations of turbulent energy and dissipation equations are different for each layer: a low Reynolds number turbulence model is used close to the walls and a high Reynolds number turbulence model is used at a certain distance from the wall.

In this paper we also want to further investigate higher value turbulence models like the Shih cubic low Reynolds k-ε turbulence model [12].

For the low Reynolds number turbulence models the hybrid mesh for y+ = 1 shown in Fig. 11, 12, with 343199 points, 1036033 volume elements was used. For the high Reynolds number turbulence models a second mesh with 166826 points, 901533 volume elements was needed to achieve a y+ of 30.

The simulations were performed with StarCD, a commercial code, which solves the Reynolds, averaged Navier Stokes (RANS) equations.

Fig. 13 shows the velocity magnitude for the cubic low Reynolds number k-ε turbulence model turbulence model, where fig. 14 shows the same for the high Reynolds number k-ε turbulence model.

All simulations generated qualitatively similar results with respect to the overall flow structure. Due to the Coanda effect, the jet generated by the nozzle remains attached to the luggage compartment wall until shortly before the ceiling where it separates. The flow follows then each sidewall separating and reattaching at every corner, before it leaves partially through the outlet. In the core of the mock-up, the mean velocity is always very small.

3.3 Experiment

For measuring the cabin airflow by means of PIV an air cooled Nd:YAG double oscillator (Brilliant Twins, Quantel) with pulse energy of 160 mJ and pulse duration of 5 ns was used for illumination of the particles. The scattered light of the tracer particles was detected by a CCD-Camera (Sensicam QE, PCO) with an actively cooled CCD-sensor and a spatial resolution of 1378 x 1040. The camera was used in combination with lenses from Zeiss (Planar T* 1.4/85). While the flash lamps of the laser were operated at a repetition rate of 10 Hz, the pockels-cells as well as the camera were operated at a frequency of 2.5 Hz.

Small droplets of Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS), synthetic oil, were used as tracer particles. For generation of the particles, a Laskin nozzle atomizer (Pivtec) was used in combination with an impactor, which prevents larger droplets from soiling the mock-up [11]. The generated particles have a mean diameter of 1 μm and are stable in air for hours [11]. The light sheet thickness was adjusted for these measurements to 4 mm. As depicted in Fig. 15, the details of the wall jet can be resolved with high spatial resolution by the use of oil droplets as tracer particles. The interrogation window size amounted to 32 x 32 pixels, resulting in a spatial resolution of 17.5 mm. Since the velocity vectors determined by PIV always constitute the average over an area of the interrogation window size, an increase of the interrogation windows has two consequences for the wall jet [13]. First, the values at small distances from the wall are biased to zero due to the overlap

of the interrogation window with the border of the measurement domain. For larger distances, the values are too large due to the overlap with the jet peak. This leads to a shift of the maximum to larger distances from the wall. Second, the averaging leads to a broadening of the jet profile with increasing window size. As a consequence for validation of wall jet profiles, the field of view has been further reduced, so that the wall jet could be resolved with an interrogation window size of only 4 mm (24x24 pixel) [13]. To get a larger field of view also helium filled soap bubbles were used for seeding [13]. Due to the limited bubble density, the size of the interrogation windows had to be set to 48 x 48 pixels. Consequently, each vector shows the average velocity of an area of 70 x 70 mm. Therefore, the very beginning of the wall jet could not be resolved properly with this setup. Figure 16 shows the result of averaging the fields of 480 double images.

3.4 Comparison between experiment and computation

In the figures 17, 18, 19, the velocity magnitude is plotted as a function of the distance from the wall for the investigated turbulence models and the PIV results along the cutting lines A, B, C shown in figure 13. The turbulence models show significant differences in the description of the width and height of the wall jet. Obviously, the turbulence models belonging to the low Reynolds number k-ε group produce the smallest jet diffusion, followed by the high Reynolds number turbulence models, while the two layer turbulence models predict the largest beam. From all low Reynolds number turbulence models investigated the cubic low Reynolds number k-ε turbulence model gave the best match. The high Reynolds number k-ε turbulence model was not able to predict the separation at all, fig 18, 19. Since the PIV results of fig. 19 where obtained with the helium filled soap bubbles and large interrogation windows the velocity peak is underestimated by the experiment.

4 Conclusions

Aircraft cabin and bunk airflow has been investigated in a generic cabin/bunk mock-up by means of numerical simulations as well as experimentally by PIV/thermography and a satisfactory agreement was achieved. It turns out, that for simulation of aircraft cabin/bunk flow low Reynolds number turbulence models have to be preferred to high Reynolds number or two layer turbulence models because their better ability to describe the jet diffusion and separation. Higher value low Reynolds number turbulence models are suited best to predict the complex 3D internal cabin flows with separation and vortices. For a better comparability between the numeric simulation and the experiment the thermography should be repeated with a naked or isotropic dressed human. A more detailed model of the digital human with respect to the heat release will enable to give even better assertions to thermal comfort of cabins/bunks in transport vehicles.

5 Outlook

Construction work is ongoing to enable the 3D measurement of temperature and humidity inside the bunk mock up. This work will also improve the modelling of the digital human and therefore the boundary conditions for CFD. New computations are planed taking in account the true mock up geometry to further improve the prediction quality of the CFD simulations.

While in the present paper, for the passenger cabin isothermal flows are studied, heating panels on the floor and at the overhead mock up contours make it possible to simulate experimentally the cooling case, where cold air enters the warm cabin and buoyancy effects come into play. Here special attention will be given to the effect of premature flow separation and it's reliable prediction by CFD. For further improvement of the CFD results, simulations with k-ω type low Reynolds number turbulence models on refined grids will be considered.

Acknowledgements

Special thanks to D. Baumgarten, H. Richard and M. Thimm for assistance during the bunk experiments.

References

[1] J.J. Costa, L.A. Oliveira, D. Blay: Test of several versions for the k-ε type turbulence modelling of internal mixed convection flows, *Int. Jour. Heat and Mass Transfer* **42** (1999)

[2] D. Blay, S. Mergui, C. Niculae: Confined Turbulent Mixed Convection in the Presence of a Horizontal Buoyant Wall Jet, *Fundamentals of Mixed Convection* **213** (1992) 62.4391.

[3] S.L. Sinha: Behaviour of inclined jet on room cooling, *Building and Environment* **36** (2001) 569.

[4] T. Mizuno, M. Warfield: Development of Three-Dimensional Thermal Air Flow Analysis Computer Program and Verification Tests, *ASHRAE Trans.* **98** (1992) 329

[5] A. Singh, M.H. Hosni, R.H. Horstman: Numerical Simulation of Airflow in an Aircraft Cabin Section, *Proceedings of the ASHRAE winter meeting* (2002).

[6] F.S. Lien, W.L. Chen, M.A. Leschziner: Low-Reynolds- Number Eddy -Viscosity Modelling Based on Non-Linear Stress-Strain/Vorticity Relations, *Proc. 3rd Symp. on Engineering Turbulence Modelling and Measurements*, Crete, 1996.

[7] B.E. Launder, D.B. Spalding: The Numerical Computation of Turbulent Flows, *Computational Methods In Applied Mechanics and Engineering* **3** (1974) 269.

[8] S.H. El Tahry: k-ε Equation for Compressible Reciprocating Engine Flows, *AIAA, J. Energy* **7** (1983) 345.V.

[9] Yakhot, S.A Orszag: Renormalization Group Analysis of Turbulence, *Journal of Scientific Computing* **1** (1986) 1.

[10] S. Hassid, M. Poreh: A Turbulent Energy Dissipation Model for Flows with Drag Reduction, *Journal of Fluids Engineering* **100** (1978) 107.

[11] M. Raffel, C. Willert, J. Kompenhans: *Particle Image Velocimetry*, 1998, Springer.

[12] T.H Shih, J. Zhu, J.L. Lumley, *A realizable Reynolds stress algebraic equation model*, NASA Tm-105993, 1993

[13] J. Bosbach , J . Pennecot , C. Wagner, M. Raffel, T. Lerche, S. Repp, *Numerical and experimental simulations of turbulent ventilation in aircraft cabins,* Proceedings of the ASME-ZSIS Internationsal Thermal Sience Seminar II, 2004

[14] Recknagel, Sprenger, Schramek, *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik,* Oldenbourg Verlag München, 2004

[15] G. da Silva, *Measurements of comfort in vehicles*, Measurement Science Technology 13, 2002

[16] International standards Organisation, ISO 7730 *Moderate Thermal Environments – Determination of the PVM and PPD Indices and the Specifications of the Conditions for Thermal Comfort*, 1993

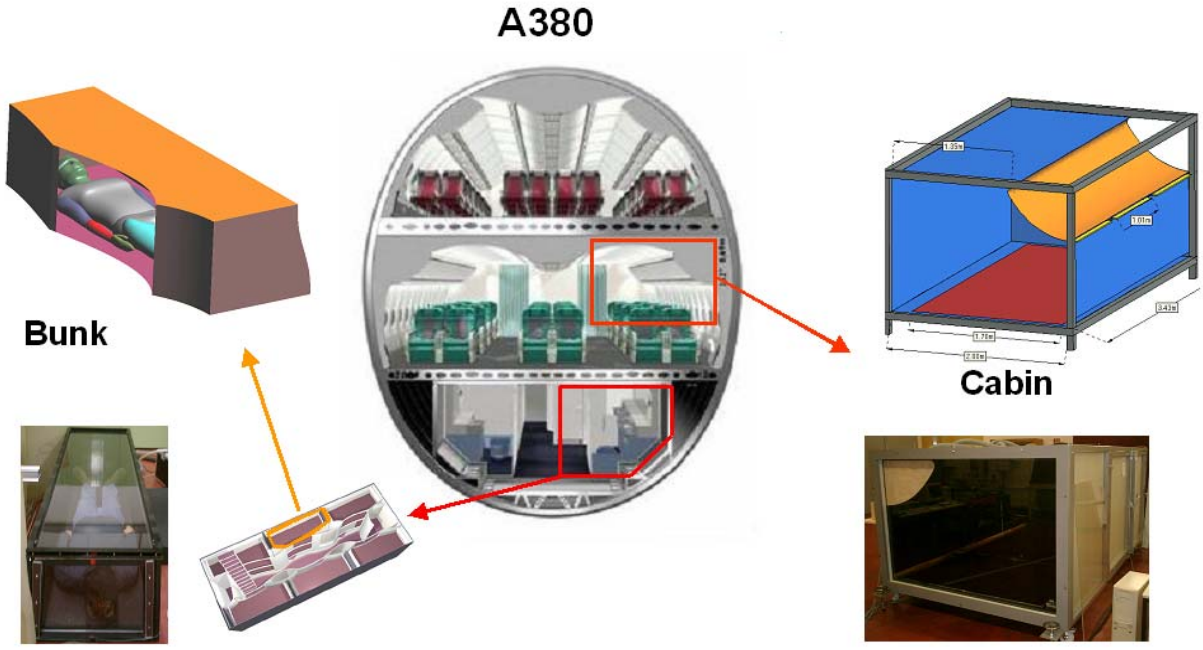


Figure 1: Placement of bunks and cabins in a modern mega liner

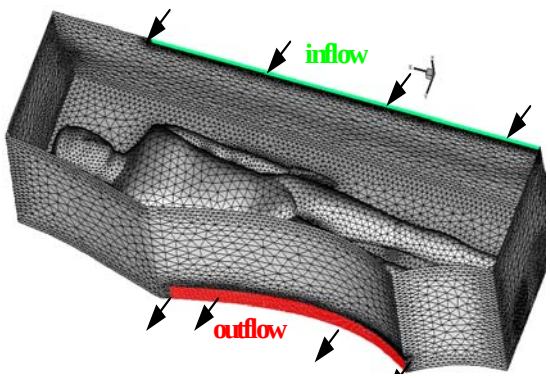


Figure 2: Computational surface mesh of bunk

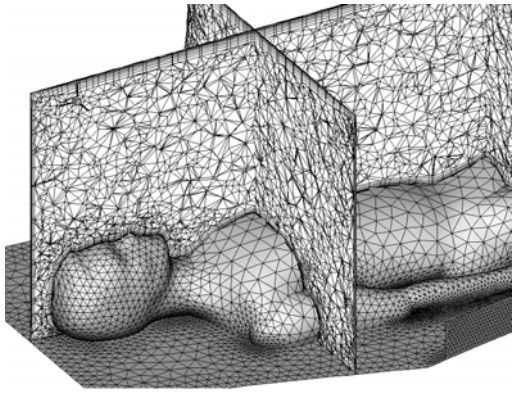


Figure 3: Computational hybrid mesh of bunk in detail

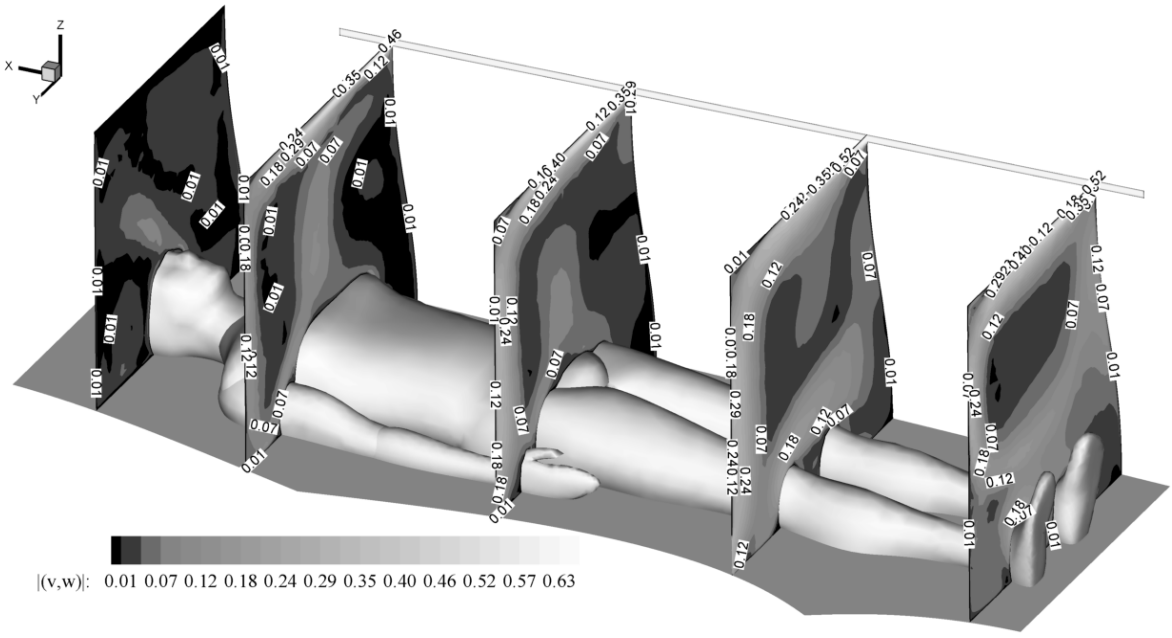


Figure 4: Predicted in plane velocity magnitude by CFD computation for five planes

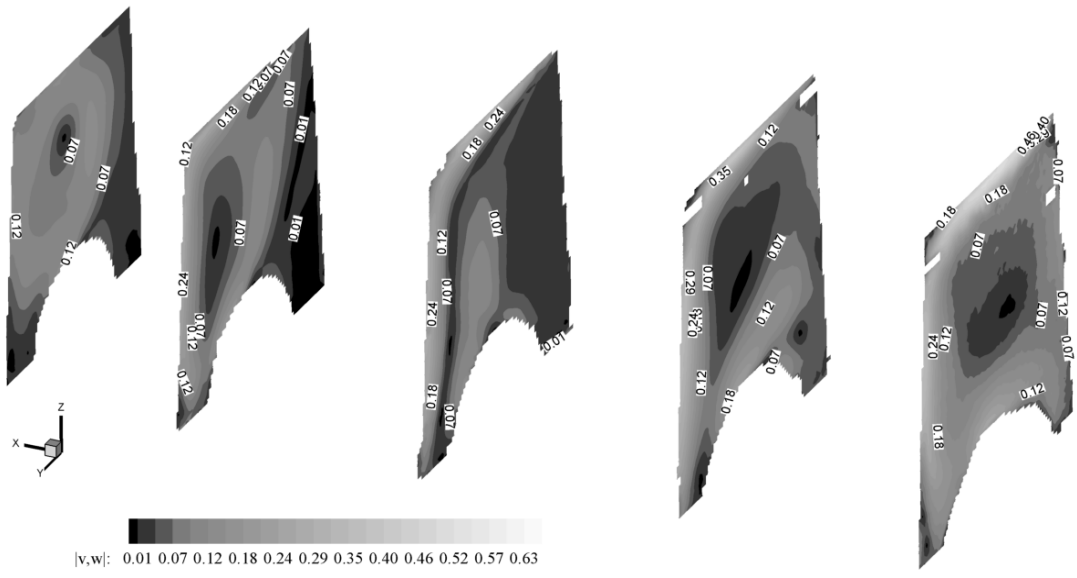


Figure 5: Measured in plane velocity magnitude by PIV for five planes

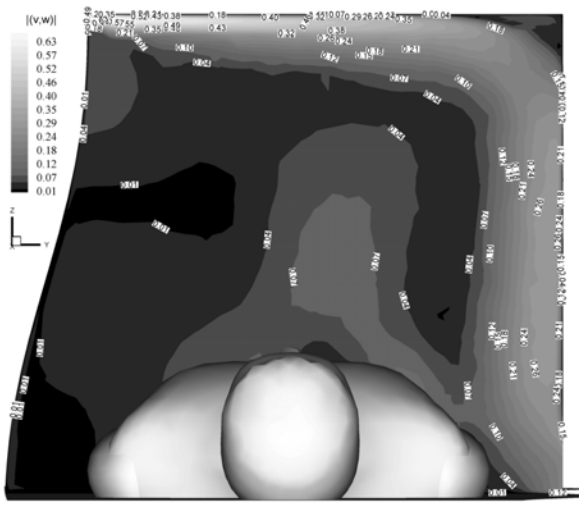


Figure 6: In center plane velocity magnitude predicted by CFD

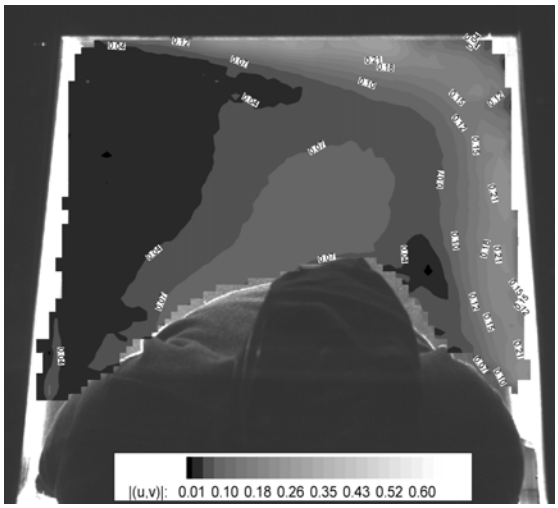


Figure 7: In center plane velocity magnitude experimentally obtained by PIV

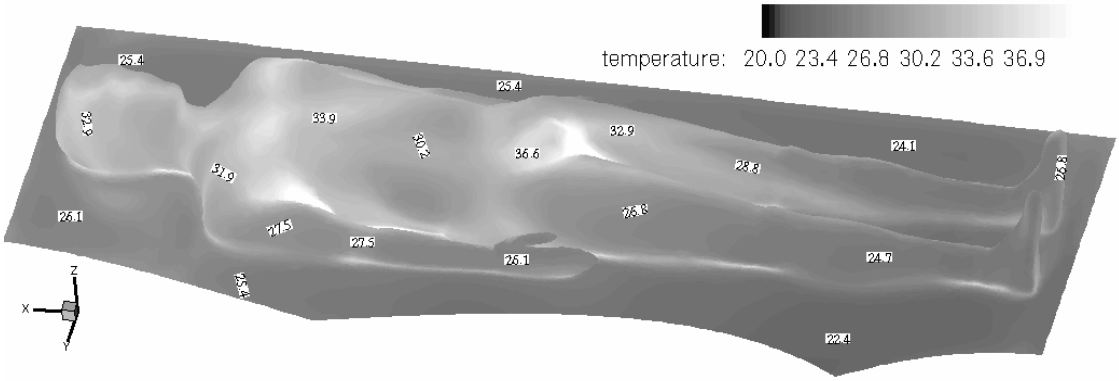


Figure 8: Predicted surface temperature distribution by CFD

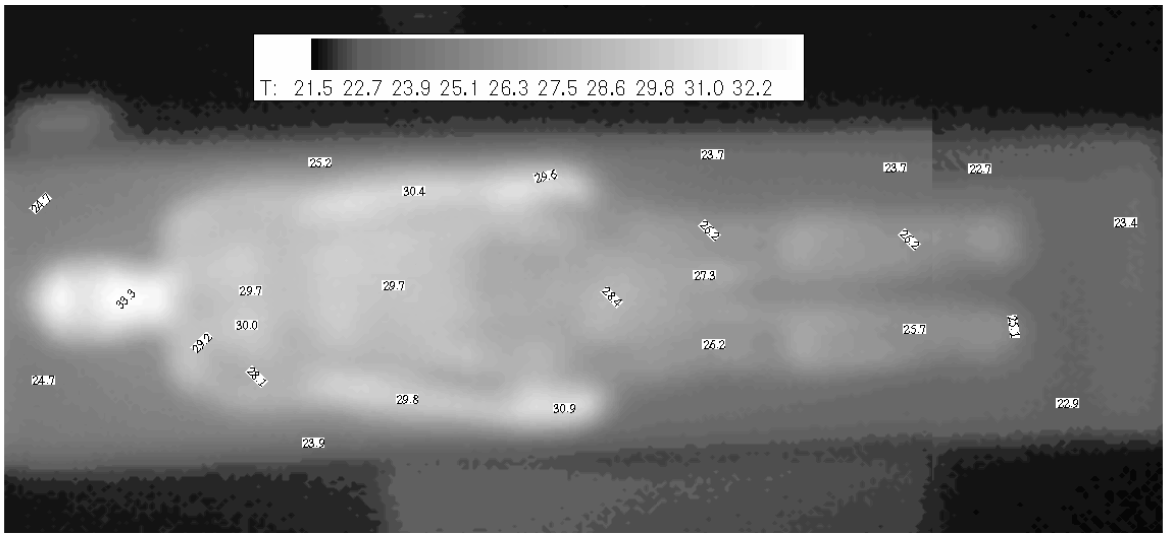


Figure 9: Surface temperature distribution measured by thermography

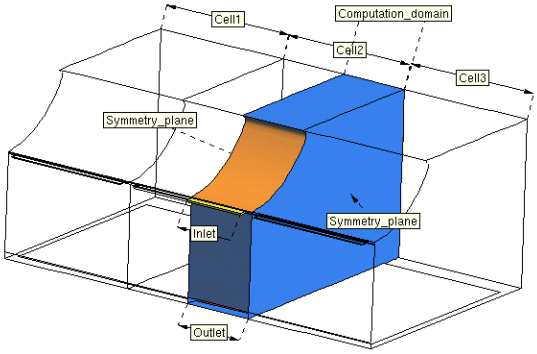


Figure 10: Computational domain of cabin

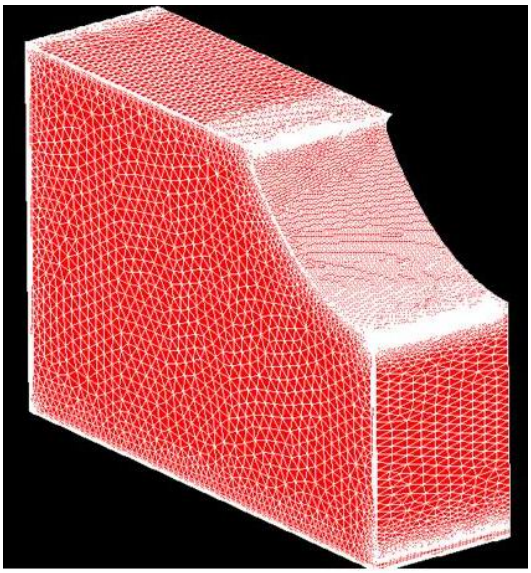


Figure 11: Hybrid computational mesh of cabin

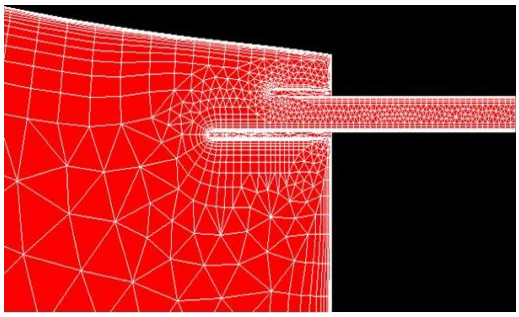


Figure 12: Detail of the hybrid computational hybrid mesh at the inflow

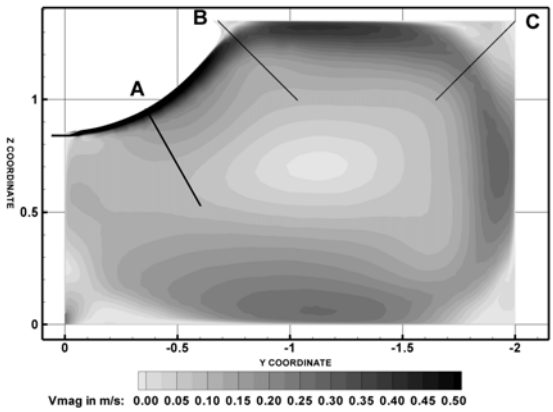


Figure 13: In symmetry plane velocity magnitude obtained by CFD with low Reynolds number turbulence model applied

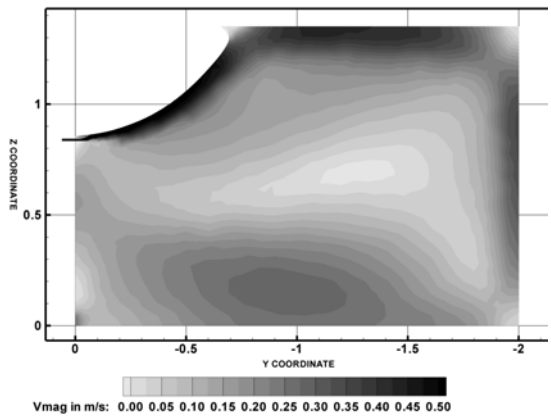


Figure 14: In symmetry plane velocity magnitude achieved by CFD and high Reynolds number turbulence model used

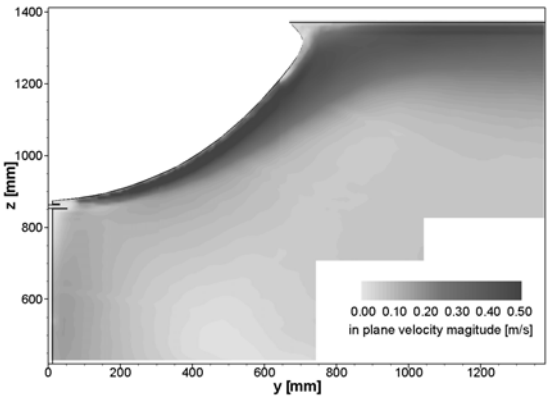


Figure 15: In symmetry plane velocity magnitude by PIV and DEHS seeding

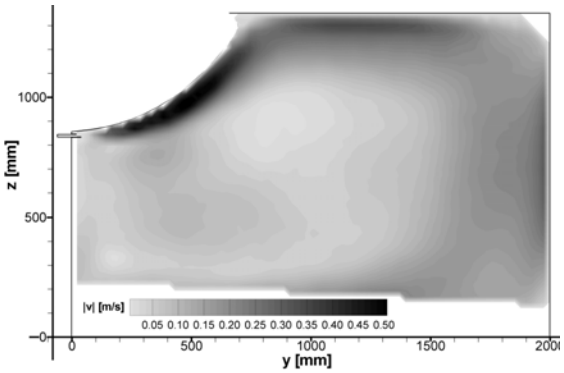


Figure 16: In symmetry plane velocity magnitude by PIV and helium bubble seeding

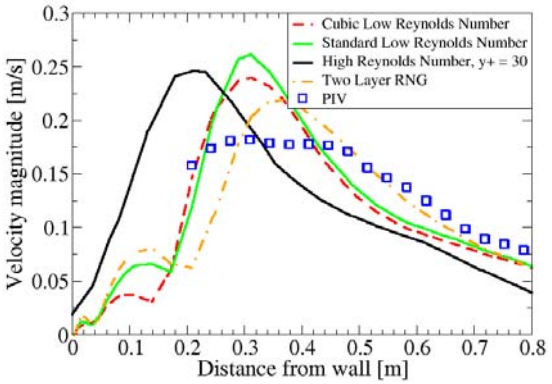


Figure 19: Velocity magnitude comparison at cut C

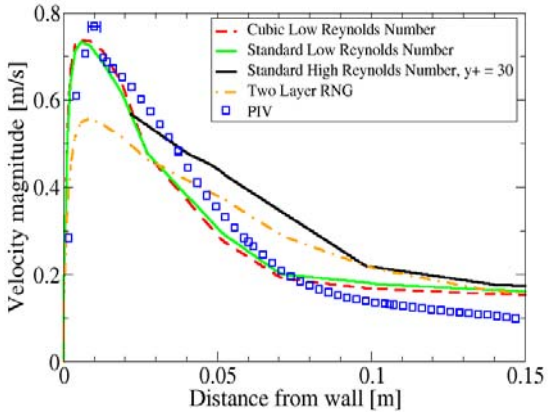


Figure 17: Velocity magnitude comparison at cut A

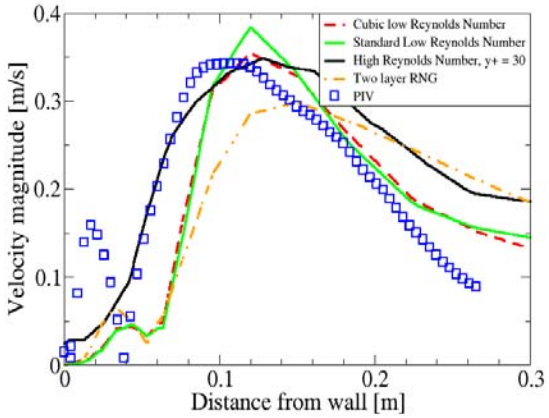


Figure 18: Velocity magnitude comparison at cut B

SANITÄRSYSTEME

- Neue Konzepte in der Flugzeugkabine -

Prof. Werner Granzeier
HAW Hamburg - Fb Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau –Schwerpunkt K.KS - Kabine Kabinensysteme

1. Einführung

Die Flugzeiten neuer Langstreckenflugzeuge erreichen 18 Flugstunden auf der transkontinentalen Routen. Die Forderungen nach Passagierkomfort konzentrieren sich im einzelnen immer mehr auch auf die Sanitärsysteme an Bord

Die technische und ergonomische Komplexität moderner Lavatories, Shower, Urinals, Refreshment rooms e.g. lässt sich heute durchaus mit anderen Kabinenschwerpunkten wie Cockpit, Galleys und VIP Aereas vergleichen.

Die Schnittstelle zwischen Technik, Airlineservice und Passagier bekommt höchste Priorität.
In allen Flugzeugkabinen müssen Sanitärsysteme den umfassendsten

ergonomischen, funktionalen und psychologischen Anforderungen und Zertifizierungsvorschriften entsprechen.

Unter Berücksichtigung technischer Rahmenbedingungen (Leichtbau – Reinigung – Beanspruchung – Service), neuer Technologien (LED Beleuchtung – Kommunikationssysteme – Nano Oberflächenbeschichtung – Akustikkomfort – Klimaführung) und Benutzeremotionen (Einziger Raum für unbeobachtete Nutzung durch a l l e Passagiere)

Die Basis für dieser Erfahrungen bilden realisierte Kabinen für Airbus A320, 318,319,321, Boeing B 717, BBJ, Fairchild Dornier 728/928 und weitere Projektbeispiele und Forschungsarbeiten.

2. Sanitärsysteme in Passagierkabinen

2.1 Design Grundlagen für Sanitärsysteme:

- Ergonomischer Höchststandard für alle MMS (Mensch-Maschine-Schnittstellen) unter Berücksichtigung der Wahrnehm – ungsgewohnheiten und Verhaltensweisen, Sicherheitsbedürfnisse und emotionalen individuellen Verhaltensmuster innerhalb der „Single-Räume“.

- Klare und eindeutige Information der Funktionen in der Lavatory-Kabine durch Formen, Flächen, Farben und optimierte Produktgrafik in allen Bereichen

- Höchste Designqualität durch Betreuung der Entwicklung, Konstruktion und Produktion aller Details vom ersten Entwurf bis zur fertigen Kabine.
- Höchster Standard für Akustik und Klimaführung als Ergänzung zum Designfaktor Passagierkomfort in Sanitärräumen in der Kabine.
Sicherheitsmaßnahmen, Notevakuierung, und textarme visuelle Kommunikation (Logos, Signets und eindeutige Funktionserklärungen) sind allgemeine Forderungen mit höchster Priorität.

Die komplexen Anforderung entstehen bei allen Sanitärräumen durch die Benutzung der behinderten Passagiere.
Ein großer Teil dieser wachsenden Passagiergruppe muß die Assistenz einer zweiten Person in Anspruch nehmen.
Weitere zukünftige Schwerpunkte sind Lavatories für weibliche Passagiere, Urinals für männliche Passagiere, Refrehsment Rooms, Mutter-Kind Räume, Duschen, Relaxräume, und medizinische Betreuungs-Räume.

Nachfolgend werden einige Beispiele aus früheren Flugzeugkabinen vorgestellt.
Den gegenwärtigen Stand gibt das Bild 1 wieder: Lavatory der B 757-300.
Zukünftige Studien werden durch Boeing 7E7 Kabinenkonzepte in Bild 2 gezeigt.

Bild 1: B 757 – 300 Lavatory, NWA Airline,USA

Bild 2: Sales Mock up BOEING 7E7

3. Sanitärräume und Layoutkonzepte

Innerhalb des Gestaltungsprozesses im General Layout einer Kabine werden aufgrund der technischen, funktionalen und ergonomischen Bedingungen, Vorschriften und Bauanordnungen die Positionen der Nutzungsfunktionen geplant.

Neben der rein funktionalen Einordnung in die Rumpfstruktur (Wasser, Abwasser, Elektrik, Klima, Kommunikation, Security/Safety) werden alle Aspekte der Auswirkungen auf den Passagierkomfort, die Passagiersicherheit und die Servicebeziehungen Crew-Passagier einbezogen.
Die gesamte Kabinenkonfiguration wird auf den jeweiligen Kunden abgestimmt und vorbereitet.

Diese Vorentwurfsphase wird im „Ergonomic Experimental Mock up“ untersucht und in Abstimmung mit Hersteller und Airlines festgelegt.

3.1. Entwurfsphase
Sanitärräume / Lavatories

Nach Definition aller Parameter, Kriterien, Vorschriften und Kundenwünsche werden erste Designkonzepte visualisiert.

Dabei werden langfristige Designstrategien für Produkte mit einem Lebenszyklus von über 20 Jahren ein wichtiger Bestandteil der langfristigen Produktplanungen.

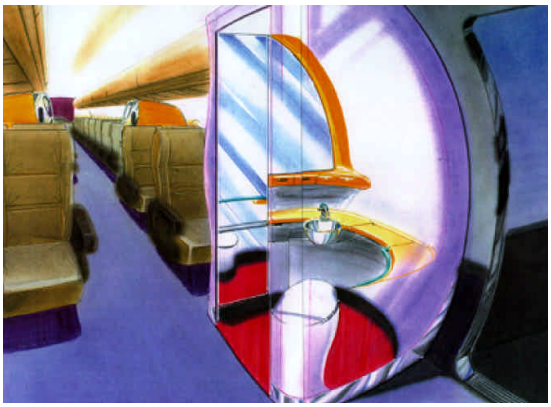


Bild 3: B 717 – 200 Lavatory Designrendering

Bild 4: „Unterflur Sanitär und Relaxzone mit Duschen, Fitness- und Kommunikationszonen in zukünftigen Large Widebody Aircrafts.

3.2 Ergonomic Experimental Mock up

Die komplexe Gestaltung und funktionale Entwicklungen werden in einem „Ergonomic Experimental Mock up“ in 1:1 bearbeitet und effizient entschieden.

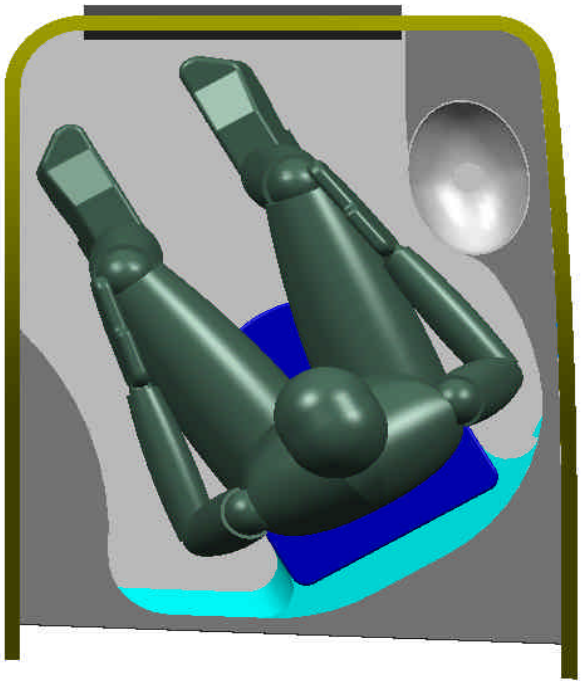


Bild 5: Ergonomic Digital Mock up 728 Forward (Fairchild Dornier 728 Forward Lavatory

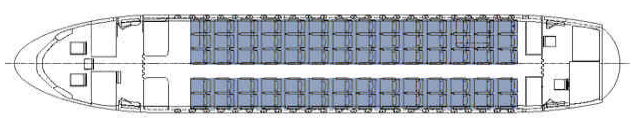


Bild 6 : Seat Layout eines Kurzstreckenflugzeuges

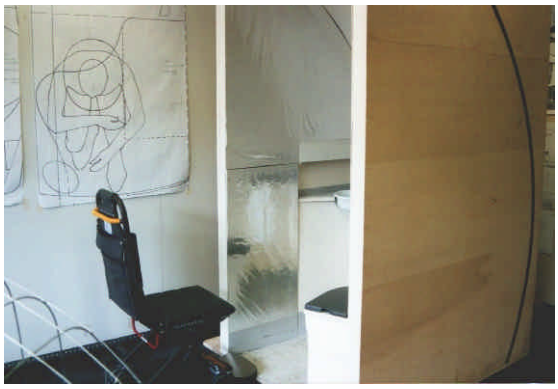


Bild 7 : Lavatory Experimental Mock up LAV97 Handicapped Lav for Onboard Wheel chair

Bild 8: Ergonomic Experimental Mock up (Fairchild Dornier 728 Forward Lavatory)

Bild 9: Designkonzept Handicapped Lav 728

3.3. Check der Designkriterien

- Definition nach FAR/JAR 25

- Eindeutige und klare Baustrukturen und optimierte ergonomische Funktionen und Sicherheitsitems (Rauchmelder, Oxygen-masken, Notruf, Kommunikation)

- Ergonomische Farb- und Oberflächen-definition (Neutrales Schminklicht, Spiegelnutzung, Kunden CI, Reinigung, Verschmutzungsprävention)

- Kundenspezifische Raumgestaltung für besondere Passagiergruppen (Male-Female - Ethnische Gruppen, Senioren, Kinder)

- Integration aller zukünftigen Kommuni-kationsmedien im Rahmen des zu verbessernden Passagierkomfortes

3.4 Sales Mock up

Um den Passagier Forderungen und den Airline Requirements rechtzeitig zu ent-sprechen, werden immer häufiger Sanitär-räume in seriennahen Mock ups präsentiert

4. Konzept- und Produktbeispiele

Nachfolgend werden einige Beispiele aus Entwicklungsprozessen oder aus Projektarbeiten von Firmen und Hochschulen präsentiert.
Die Beispiele sollen Diskussionen anregen und mögliche Innovationsimpulse geben.

4.1. Smallest Lav for Regionalliner

Für die Kabine eines Regionalliners wurde die zur Zeit kleinste Flugzeuglavatory entwickelt. Durch die Reduzierung auf den absolut minimalsten Raumbedarf bei normaler Nutzung wurden alle notwendigen Designkriterien zur optimalen Wahrnehmung des Raumes eingearbeitet.
Wesentliche Prozeßschritte waren die Raumermittlung per 3-D Digital Mock up und das Sales Mock up für die Kunden- und Zulieferpräsentation. (Bild xx)

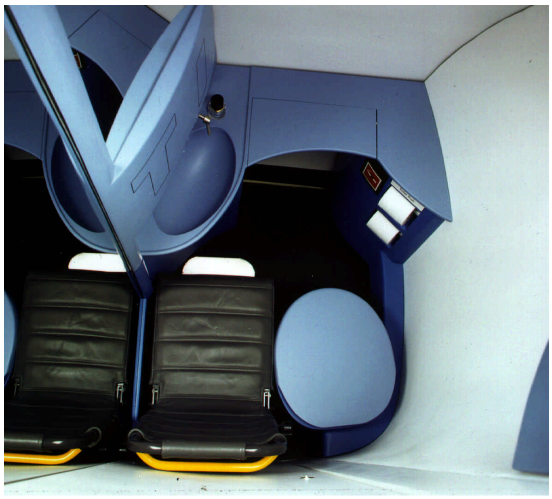


Bild 10: Sales Mock up LAV97 mit Rollstuhl

Bild 11: Lavatory Detail - Waschtisch 728

Bild 12: 3-D Digital Mock up 728 Fairchild Dornier

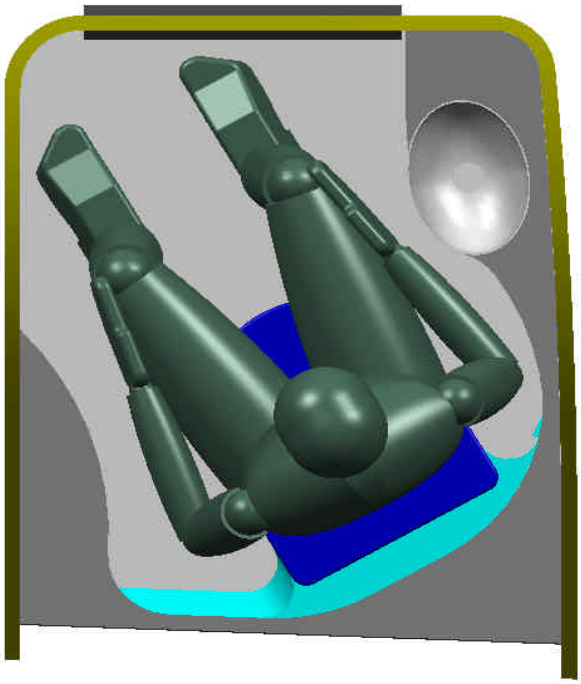


Bild 13: Digital Mock up 728 Fairchild Dornier (iDS Hamburg)

Bild 14: Sales Mockup 728 Forward Lav (iDS)

4.2. Handicapped Lavs for regionalliner

Innerhalb der Sanitärsysteme für Regionalliner wurde im Heckbereich die bisher einzige Rollstuhlfahrer geeignete Lavatory entwickelt. Der insgesamt vergrößerte Raum erhält auch z.B. Babywickeltisch, Ganzkörperspiegel und zusätzlichen Stauraum. (Bild)

Bild 15: Kabinen Mock up 728 Fairchild Dornier – Ansicht Handicapped Lavatory im Heckbereich

Bild 16: Sales Mock up 728 Fairchild Dornier Ansicht Handicapped Lavatory im Heckbereich (iDS Hamburg)

4.3. Handicapped Lavs for all Narrowbody aircraft - LAV97

Durch Gespräche und Diskussionen mit Herstellern, Airlines, Verbänden und zahlreichen Passagieren wurden erhebliche Komfortmängel in allen Narrowbody Kabinen bekannt. Die menschenwürdige Nutzung von Handicapped Lavatories in den Narrowbody Kabine ist zur Zeit nich t möglich. Zwar gibt es vergrößerte Lavatories für Narrowbody Flugzeuge um den Preis einer Sitzreihe oder einer 2er oder 3er Sitzkombination.
Auf dieser Analysebasis wurde von Studenten der HAW Hamburg und den Hamburger Firmen Innovint, Comtas und iDS ein funktionierendes Konzept auf der gleichen Grundfläche wie bisherige Lavatories entwickelt und präsentiert.

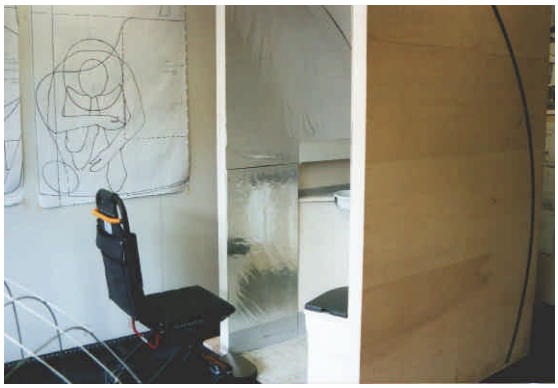


Bild 17 : Lavatory Experimental Mock up LAV97 Handicapped Lav for Onboard Wheel chair

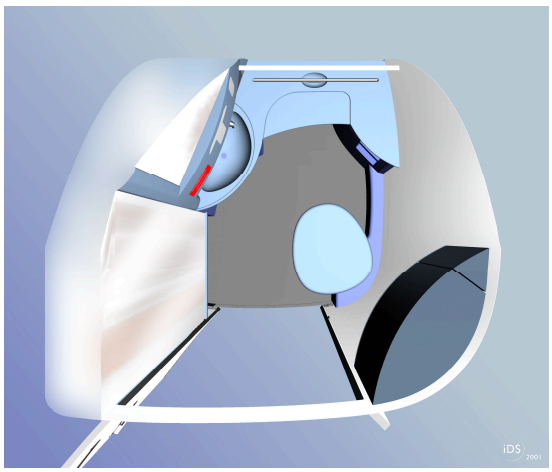


Bild 18 : 3-Dlavatory Mock up LAV97

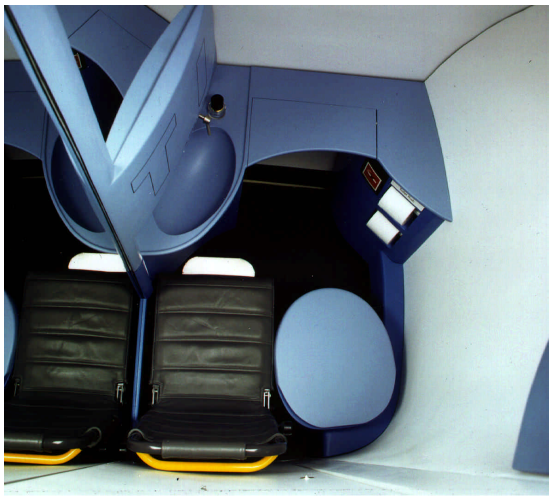


Bild 19 : Lavatory Sales Mock up LAV97 mit Rollstuhl (Innovint, Hamburg)

4.4. Urinal for male passengers

Zu den innovativen Ansätzen in zukünftigen Sanitärsystemen werden auch Urinale für männliche Passagiere gehören. Diese Unterscheidung ermöglicht besonderen Komfort und eine deutliche Reduzierung der Reinigungsintervalle bei herkömmlichen Lavatories.

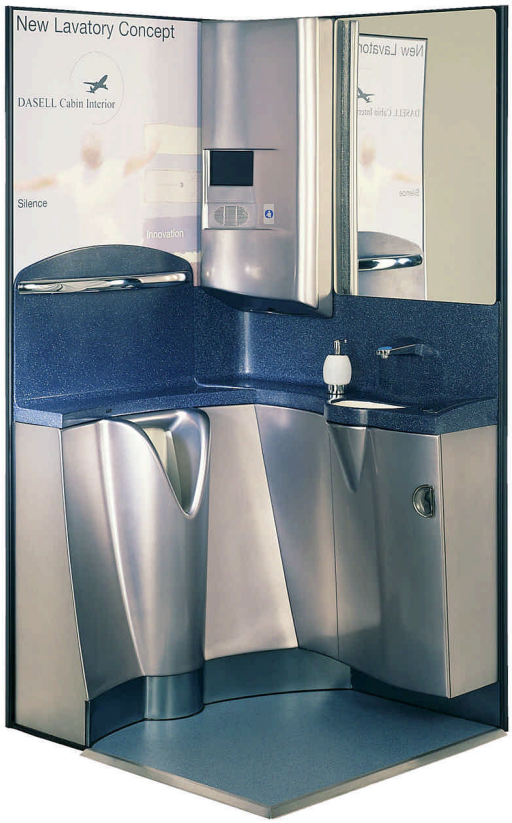


Bild 20: Urinal Sales Mock up für DASELL

4.5. Increased Lavatory für Widebodies

Die nachfolgende Designstudie für DASELL Cabin Interior präsentiert einige besondere Details für zukünftige Lavatories.
So sind neue Staumöglichkeiten, verbesserter Wasteservice, Ablageregale und hochwertige Waschtischumgebung mit neuen LED Beleuchtungen integriert.

Bild 21: Sales Mock up New Lavatory Concept – iDS Hamburg für DASELL Cabin Interior

Bild 22: Waschtisch, Wasserhahn und Waste

4.6. MCL - Multycultural (Touchless) Lavatory

Aufgrund verschiedener Recherchen durch Kontakte mit arabischen und asiatischen Airlines Airlines und Diskussione mit Lavatory Herstellern wurde der Bedarf nach einer „berührungslosen“ Toilette erkenn-bar. Erhebliche Schädenn durch immer mehr Passagiere, die mit dem Gebrauch „westlicher“ Toiletten nicht vertraut waren, erforderten neue Ideen und Untersuchungen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der HAW Hamburg (Herr A.Wilhelm und Herr H. Meints) wurden erste ergonomische Grundlagen erarbeitet.

Bild 23: 3D Ansicht der Raumanordnung in vorhandenen Lavatory Systemmaßen.

Auf der Basis vorhandener Grundrisse wurde durch neue Layoutanalysen und Funktionsuntersuchungen das abgebildete Konzept entwickelt und extern weitergeführt.

Bild 24: Ansichtvon oben zur Darstellung des speziellen Layouts

4.7. Refreshment rooms

Für die zukünftige Anpassung des Passagierkomforts und der zu erwartenden Bedürfnisse auf Langstreckenflügen (zur Zeit beginnen Flüge von 18 Stunden Flugzeit) werden Räumlichkeiten zur Körpererfrischung und besonderem Serviceangebot für Eltern/Kleinkinder erforderlich.
Zu diesen Themen sind im Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau der HAW erste Ergonomieuntersuchungen in der Größe vorhandener Lavatory Housings durchgeführt und präsentiert worden.

4.8. Shower studies

Bei aktuellen und zukünftigen VIP Kabinenkonzepten ist der Passagierkomfort einer Dusche oder kombinierten Lav/Shower Rooms heute schon eher Standard.

Für Langstreckenkabinen werden erste Forderungen von Airlines und Passagieren formuliert und angedacht.
Neben der erheblichen Frage des Wassergewichtes in Verbindung mit Wasser - Recycling sind einige grundlegende Fragen noch zu lösen.
Um den derzeitige Angebotsstand zu zeigen, findet sich in Bild 24 ein Angebot der Firma DASELL, Hamburg.

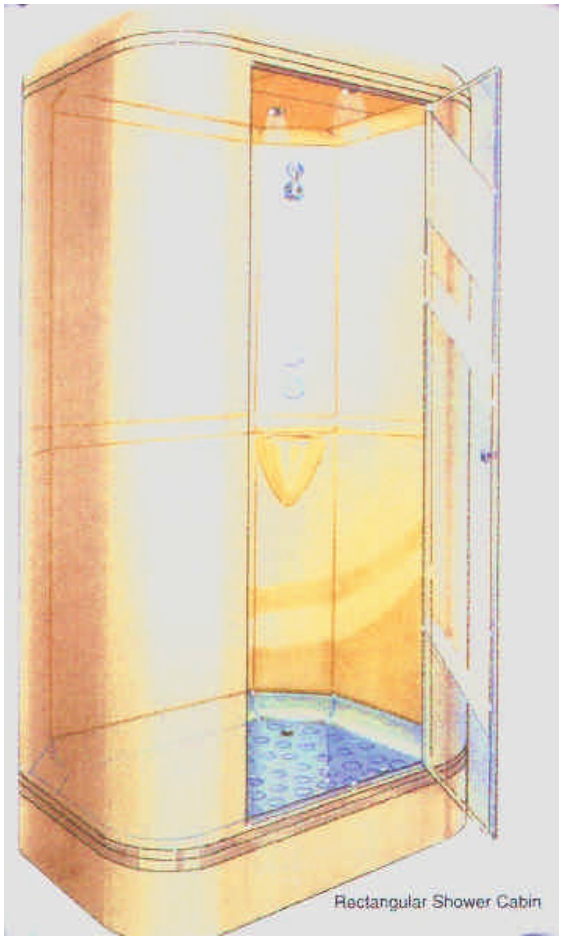


Bild 25: 3-D Ansicht eines Shower-Rooms aus dem Wahrnehmungsfeld eines Passagiers

4.9. Lavatories Cabin layout for BWB future cabin concepts

Im Rahmen zukünftiger Kabinenkonzepte werden auch neue Layoutideen in BWB Langstreckenflugzeugen untersucht.

Bei dem von Hochschulen bearbeiteten Nurflügelflugzeug (Studie AC20.30) werden unterschiedliche Nutzungen angedacht.

Im Unterflur Raum können komplette Sanitäreinheiten mit Wellness- Zonen und Medizinischen Räumen für zukünftigen Passagierkomfort entwickelt werden.
Die folgenden Bilder zeigen eine Raumansicht im Unterflur-Bereich (Bild 26) und ein Gesamtlayout (Bild 27)

Bild 26: „Unterflur Sanitär und Relaxzone mit Duschen, Fitness- und Kommunikationszonen

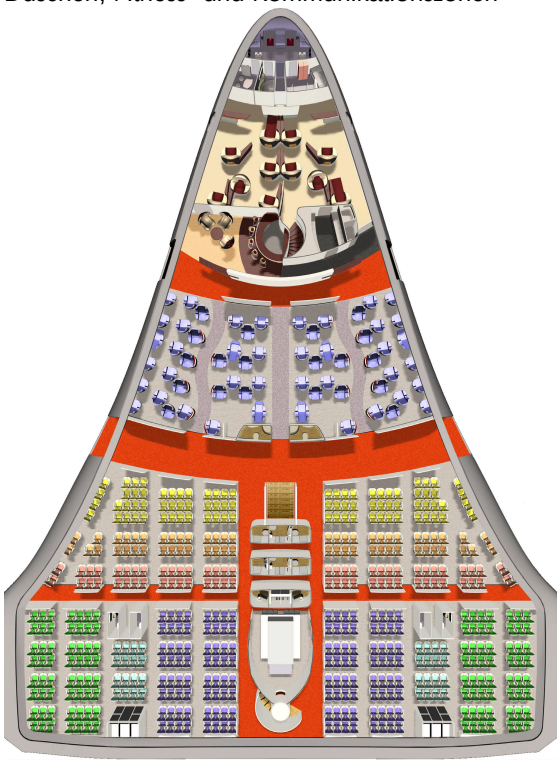


Bild 27: Zukünftiges Kabinen Layout eines Blendend Wing Body Aircrafts

Bild 28: Flugmodell AC20.30 der HAW Hamburg

5. Quellenangaben

- Fotos und Zeichnungen ohne Angaben vom Verfasser
- Fotos 20, 21, 22 von DASELL
- Fotos 13, 14, 15, 16, 17, 18 von Fairchild Dornier
- Fotos 24, 25 von iDS

Copyright 6/2004 Prof. Werner Granzeier

DYNAMISCHE ZULASSUNG VON FLUGGASTSITZEN

W. Geiwiz; J. Breuer; K.M. Müller; Dr. C. Schrempp
RECARO Aircraft Seating GmbH & Co. KG
Daimlerstrasse 21; 74523 Schwäbisch Hall

1. RÜCKBLICK

Das Flugzeug gilt seit langem als eines der sichersten Verkehrmittel weltweit. Doch trotzdem kommt es immer wieder zu schweren Unfällen mit Personenschaden. In den letzten Jahrzehnten wurden solche Vorfälle sehr genau untersucht, um die Ursachen zu klären und um geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die eine Wiederholung eines gleichartigen Unglückes verhindern.

Im Rahmen dieser Flugunfalluntersuchungen wurde nicht nur Ursachenforschung betrieben, sondern auch versucht, den Unfallhergang und dessen Einfluss auf die Flugzeuginsassen zu ergründen. Bei diesen Untersuchungen stellte sich heraus, dass es insbesondere bei Unfällen von Passagierflugzeugen doch deutliche Unterschiede hinsichtlich der Anzahl und Schwere der geschädigten Flugzeuginsassen gibt. Dabei konnte folgende Regelmäßigkeit gefunden werden: Wenn ein Flugzeuginsasse, nachdem das verunglückte Flugzeug zum Stillstand kommt, noch bei Bewusstsein ist, sich allein aus seinem Sitz befreien und den Sitz verlassen kann, so ist die Chance die „Post Crash Katastrophen“ zu überleben sehr gut.

Eine wichtige Rolle in diesem System stellt der Sitz als Schnittstelle zwischen Insasse und Flugzeugstruktur dar. Aufgrund der oben beschriebenen Randbedingungen wurden die Anforderungen an Fluggastsitze erweitert, um diese Aspekte zu berücksichtigen.

Bis zu Beginn der 80er Jahre wurden die Crashlasten für Fluggastsitze lediglich über statische Tests nachgewiesen. Die in den 70er Jahren begonnenen Untersuchungen von FAA und NASA zeigten jedoch sehr deutlich, dass diese statischen Nachweise nicht ausreichend sind [1]. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde eine umfangreiche Datenbasis erstellt und ausgewertet. Grundlagen hierfür waren zunächst die Untersuchungsergebnisse von Flugunfällen. Ausgehend davon wurden verschiedene Modell- und Komponentenversuche durchgeführt. Ergänzt wurden die experimentellen Ergebnisse um analytische Berechnungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden dann in einem Full-Scale Crash Test überprüft. Der „Controlled Impact Demonstration“ (CID) Versuch wurde im Dezember 1984 mit einer vollinstrumentierten Boeing B720 durchgeführt. Als ein Ergebnis dieses Versuches konnten die analytischen Methoden zur Berechnung der Interaktion der verschiedenen Flugzeugkomponenten beim Aufschlag verifiziert werden (insbesondere auch die für den Flugzeuginnenraum).

BILD 1. CID – Controlled Impact Demonstration

Damit war eine breite Datenbasis vorhanden, um die dynamischen Anforderungen an Fluggastsitze in Passagierflugzeugen definieren zu können. Diese Forderungen sind mit dem 14 CFR Part 25 [2], Amendment 25-64, (Effective Date June 16, 1988) bzw. mit Change 13 der JAR 25 [2] für alle neuen Flugzeugtypen vorgeschrieben.

2. ZULASSUNGSVORSCHRIFTEN

Die Forderungen haben letztlich zu einer ganzen Reihe von Änderungen an bestehende Bauvorschriften bzw. zu neuen Vorschriften geführt. Die wichtigsten Vorschriften sind im folgenden kurz erläutert.

2.1. CS/JAR/FAR 25.561

In der CS/JAR/FAR 25 [2] im Paragraph 25.561 sind die statischen „Emergency Landing Conditions“ beschrieben. Der Paragraph definiert welche unterschiedlichen statischen Lastfälle für die Sitzstruktur nachzuweisen sind. Diese Bauvorschrift ist für Flugzeughersteller gültig. Inhaltlich unterscheiden sich die europäische und amerikanische Bauvorschrift nicht.

2.2. CS/JAR/FAR 25.562

In der CS/JAR/FAR 25 [2] im Paragraph 25.562 sind die „Emergency Landing Dynamic Conditions“ beschrieben. Der Paragraph definiert welche unterschiedlichen dynamischen Lastfälle nachzuweisen sind und welche Belastungsgrenzen dabei für den Passagier nicht überschritten werden dürfen. Diese Bauvorschrift ist für Flugzeughersteller gültig. Inhaltlich unterscheiden sich die europäische und amerikanische Bauvorschrift nicht.

2.3. AC 25.562 1B

Das Advisory Circular 25.562 1B [3] beschreibt detailliert welche dynamischen Nachweise für das Sitzrückhaltesystem und den Insassenschutz geführt werden müssen. Es ist als Interpretationshilfe zur Bauvorschrift CS/JAR/FAR 25.562 geschrieben.

Da in einem Flugzeuglayout eine Vielzahl unterschiedlicher Sitze auftauchen, gibt das AC Richtlinien vor nach denen die Sitze zu Sitzfamilien zusammengefasst werden können. Davon abhängig wird die Anzahl der durchzuführenden Versuche aufgezeigt. Dadurch kann die Zahl der für die Nachweisführung notwendigen Versuche deutlich reduziert werden. Darüber hinaus wird aufgezeigt, ob nachträgliche Änderungen am Sitz bzw. an Sitzkomponenten zusätzlicher Tests bedürfen oder nicht.

2.4. (E)TSO C127a

Die TSO-C127a sowie die ETSO-C127a [4] definieren die minimalen Forderungen, die ein Sitzsystem für Hubschrauber, Passagierflugzeuge und kleinere Reise- und Geschäftsflugzeuge erfüllen muss. Diese Bauvorschrift ist für Sitzhersteller gültig.

Sie ist eine Zusammenfassung aller Bauvorschriften, die ein Sitz erfüllen muss, damit er in ein Flugzeug eingebaut werden darf.

2.5. SAE AS8049

Die SAE AS8049 [5] beschreibt detailliert die Standardforderungen, die an Fluggastsitze in Hubschraubern, Passagierflugzeugen und kleineren Reise und Geschäftsflugzeugen gestellt werden.

Zusätzlich enthält die AS 8049 Richtlinien zur Auslegung von Komponenten. Diese Auslegungsrichtlinien sollen einen zuverlässigen Einsatz unter allen Betriebsbedingungen sicherstellen.

3. DYNAMISCHE ZULASSUNGSVERSUCHE

Aus den im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Zulassungsvorschriften resultiert eine Reihe von dynamischen Nachweisen, die für jeden neuen Sitztyp, abhängig vom jeweiligen Sitzlayout, zu erbringen sind.

Die Nachweise lassen sich grob in Versuche zum dynamischen Strukturnachweis und in Versuche zum Nachweis von Verletzungskriterien unterteilen.

Das nachfolgende Diagramm zeigt einen typischen Nachweisbaum für das Economy Class Layout eines Langstreckenflugzeuges.

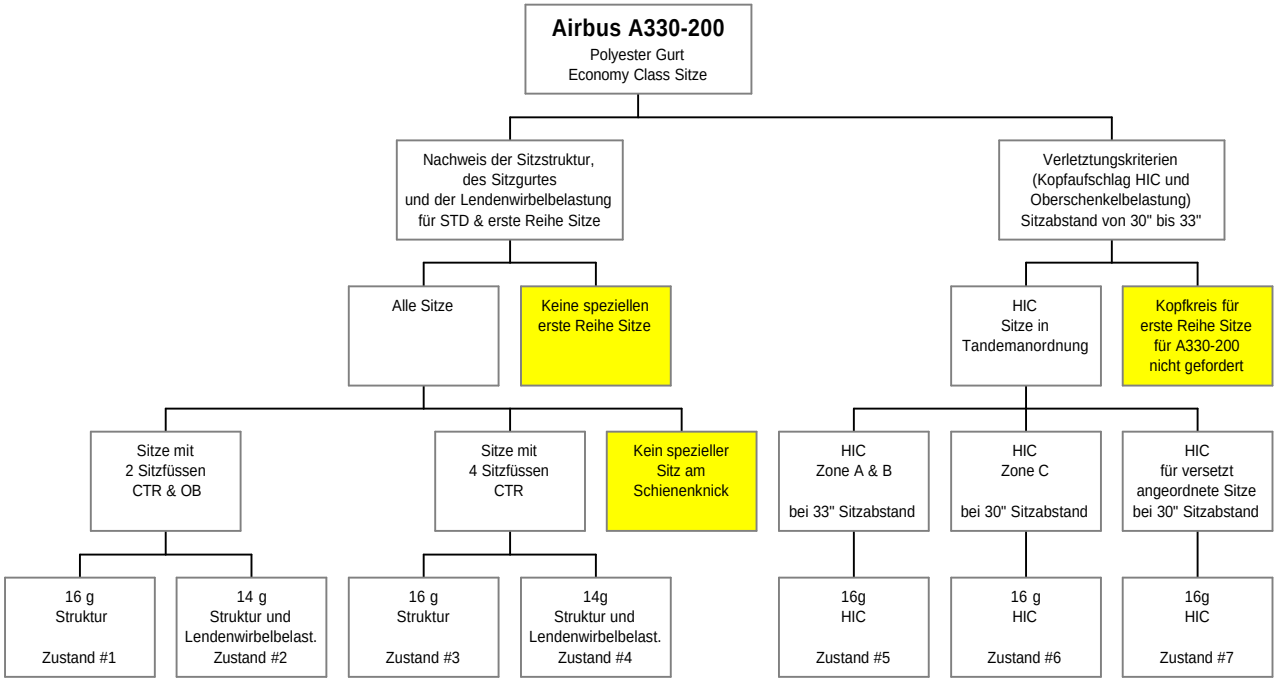


BILD 2. Nachweisbaum für ein Sitzlayout

3.1. Dynamischer Nachweis der Sitzstruktur

Im dynamischen Strukturversuch muss die Auslegung der Sitzprimärstruktur gegenüber dynamischen Lasten gezeigt werden. Hierbei werden abhängig von der Lastrichtung grundsätzlich zwei Lastfälle unterschieden.

Da die meisten Sitze ähnlich aufgebaut sind, wird zu Beginn der Versuchsplanung, nach Betrachtung der Primärstruktur, der Sitze eine Zusammenfassung unterschiedlicher Sitze zu Sitzfamilien durchgeführt.

3.1.1. 16g Vorwärtsbelastung

Mit diesem Versuch an einem einzelnen Sitz werden die mechanischen Eigenschaften unter der dominierenden Last in Flugzeuglängsrichtung ermittelt. Durch Drehen des Sitzes um 10° (Yaw) zur Bewegungslängsachse wird der Hauptbelastung eine seitliche Last überlagert, welches zu deutlich höheren Lasten im kritischen Sitzfuß führt. Durch definiertes Verdrehen/Kippen der Sitzschienenadapter vor dem Versuch wird zusätzlich die Verformung des Kabinenbodens beim Aufprall mit berücksichtigt. Bei diesem Versuch werden die höchsten Sitzfußlasten und die größten Biegemomente in den Tragrohren nachgewiesen. Wichtige Kennwerte sind hierbei die nach dem Versuch in Längsrichtung und zur Seite gemessenen Verformungen. Dieser Versuch dient auch zum Nachweis des Gurtes in Kombination mit der Sitzstruktur, da dieser unter der gegebenen Belastung am stärksten beansprucht wird und einen deutlichen Einfluss auf die Verformungswerte hat.

BILD 3. 16 g Vorwärtsversuch (nach Pitch and Roll)

Min. Geschwindigkeit V_1	13.41 m/s (44 ft/s)
Max. Beschleunigungszeit t_1	0.09 s
Min. Beschleunigung a	16 g
Vorverformung • Rollwinkel (Roll) • Kippwinkel (Pitch)	 10° 10°

TAB 1. Versuchsparameter 16g Vorwärtsversuch

3.1.2. 14g Abwärtsbelastung

In diesem Versuch mit einem einzelnen Sitz werden die mechanischen Eigenschaften unter einer dominierenden Last in Abwärtsrichtung ermittelt. Diese Last wird kombiniert mit einer Last in Vorwärtsrichtung. Damit werden die höchsten Lasten im Sitzboden nachgewiesen. Zusätzlich wird in diesem Versuch der Einfluss der Sitzstruktur und des Kissensystems auf die Lendenwirbelbelastung ermittelt.

Für den Versuch wird der Sitz unter 60° nach hinten gekippt montiert. Damit ergibt sich unter Berücksichtigung der Schlittenbewegungsrichtung der geforderte Aufschlagswinkel von 30° zur Vertikalen.

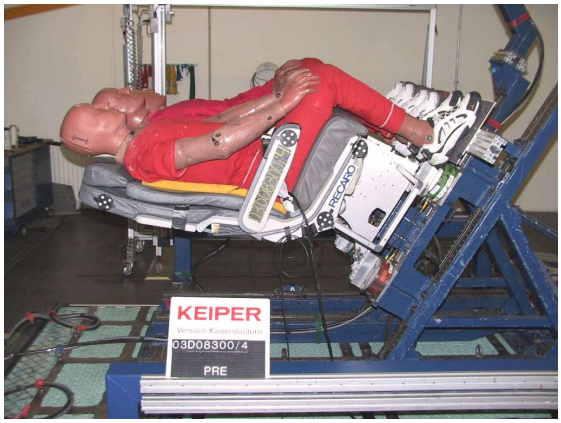


BILD 4. 14 g Abwärtsbelastung

Min. Geschwindigkeit V_1	10.67 m/s (35 ft/s)
Max. Beschleunigungszeit t_1	0.08 s
Min. Beschleunigung a	14 g
Aufschlagswinkel	30°
Vorverformung • Rollwinkel • Kippwinkel	 0° 0°

TAB 2. Versuchsparameter 14g Abwärtsversuch

3.1.3. Einteilen der Sitze in Sitzfamilien

Dieses Zusammenfassen der Sitze in Sitzfamilien ist ein entscheidender Schritt, um den Versuchsaufwand für den dynamischen Strukturnachweis auf ein notwendiges Minimum zu begrenzen. Bei einem aktuellen Layout für ein Langstreckenflugzeug gibt es meist 30 und mehr unterschiedliche Sitzvarianten. Hauptgrund für diese Vielzahl von unterschiedlichen Sitzen ist der Anspruch den vorhandenen Platz im Flugzeug bestmöglichst zu nutzen. Dies erfordert eine exakte Anpassung der Sitzgeometrie an die Flugzeuggeometrie unter Einhaltung der allgemeinen und spezifischen Zulassungs-anforderungen für das jeweilige Flugzeugmodell. Entscheidendes Merkmal hinsichtlich des dynamischen Strukturverhaltens sind die Komponenten des primären Lastpfades. Dieser besteht aus (für eine klassisch aufgebautes Sitzgestell):

- Sitzfüßen inklusive Anbindung zur Sitzschiene,
- Tragrohre (vorne bzw. hinten),
- Sitzteiler,
- Gurtanbindung und Sitzgurt,
- Sitzpfanne.

Zusätzlich sind ggfs. noch die Sitzkomponenten, die den Sitzreferenzpunkt beeinflussen, zu berücksichtigen, z. B.:

- Sitzkissen,
- Rückenlehne und Rückenlehnenkissen.

Ein wichtiges Unterscheidungskriterium ist die Anzahl und der Abstand der Sitzfüße. Dies wird durch den Sitzschienenabstand vorgegebenen und hat einen entscheidenden Einfluss auf das Strukturverhalten der Sitze. In den meisten Fällen können die Sitze in 1 bis 4 Sitzfamilien zusammengefasst werden.

3.2. Versuche zum Nachweis der Verletzungskriterien

Die im ersten Abschnitt erwähnten Unfalluntersuchungen haben gezeigt, dass einige Verletzungsarten als besonders kritisch anzusehen sind. Hieraus wurden verschiedene Verletzungskriterien abgeleitet:

- Kopfaufschlagkriterium
- Oberschenkelbelastung
- Lendenwirbelkriterium

Dies bedingt eine Reihe von Versuchen, die nur dem Nachweis dieser Verletzungskriterien dienen.

3.2.1. Kopfaufschlagversuche

Bei der Festlegung eines kritischen Wertes für den Kopfaufschlag konnte auf die umfangreichen Untersuchungen und Versuchsergebnisse aus dem Automobilbereich zurückgegriffen werden. Aufgrund dieser Unterlagen wurde für den HIC Wert (Head Injury Criterion) eine Obergrenze von 1000 definiert. Der HIC Wert ist das Maximum für ein Intergral der Beschleunigung über der Zeit in einem gewissen Zeitintervall.

$$(1) \quad HIC = \left[(t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t)dt \right]^{2,5} \right]_{\max}$$

Die Ermittelung der maximalen Beschleunigungen und Kräfte, wenn es im Crash-Fall zu einem Kontakt zwischen Passagier und den vor ihm angebrachten Sitzen bzw. Strukturen kommt, muss sehr differenziert betrachtet werden. Im Regelfall trifft der Passagier im Crashfall auf die Rückenlehne des vorderen Sitzes. Abhängig von Sitzabstand, Größe des Passagiers und Rückenlehnenbeschaffenheit können hier verschiedene kritische Lastfälle bzw. Zonen definiert werden, die jeweils gesondert nachzuweisen sind.

Im ersten Schritt wird die Einbausituation der Sitze im Flugzeug betrachtet. Hierbei sind unter anderem folgende Fragen zu beachten:

- In welchem minimalen bzw. maximalen Abstand stehen die Sitze zueinander?
- Wie weit sind die Sitze von der Wand bzw. anderen Hindernissen entfernt?
- Gibt es Reihen mit einem seitlichen Versatz zwischen den Sitzen?
- Enthält das Kabinenlayout Sitze, die unter einem gewissen Winkel zur Flugzeuglängsachse eingebaut sind?
- Welche Probleme gibt es am Schienenknick?

Dazu kommen noch die spezifischen Anforderungen der einzelnen Flugzeugmodelle.

Nachdem geklärt ist, welche Einbausituationen vorliegen, werden die spezifischen Eigenheiten der Sitze betrachtet.

- Wie sieht die Rückenlehnenstruktur als Strukturelement im primären Lastpfad beim Kopfaufschlag aus?
- Welche Teile der Rückenlehne liegen im erwarteten Auftreffbereich z. B. Rückenlehnenmonitor, -esstisch, Kleiderhaken, Literaturtasche? Gerade hierbei erweisen sich oft unscheinbare Kleinigkeiten, wie ein vom Kunden gewünschter Lederbezug am falschen Platz als Elemente mit extrem ungünstigen Auswirkungen auf den HIC Wert.

Wichtige Voraussetzung für alle voran genannten Untersuchungen ist, dass die Bewegungskurve des Kopfes für den angeschnallten Passagier bekannt ist. Erst anhand dieses Kopfkreises kann der Auftreffbereich vorausbestimmt werden. Im günstigsten Fall ergibt die CAD Untersuchung mit den Kopfkreisdaten, dass es zu keinem Kopfkontakt kommt.

Die Mehrzahl der HIC-Nachweise wird in sogenannten Row-to-Row Versuchen erbracht.

3.2.1.1. Row-to-Row Versuche

Hierbei werden zwei Sitze in Tandemanordnung hintereinander in einem 16g Vorwärtsversuch getestet. Der grundlegende Parameter hierfür ist der Abstand zweier Sitze (Seat Pitch) zueinander. Die Anordnung der Sitze auf dem Schlitten (Sitzabstand und Winkel zur Schlittenlängsachse) richtet sich nach dem nachzuweisenden Auftreffpunkt.

Bei der Definition der notwendigen Versuche wird der sogenannte „HIC Lite“-Ansatz [6] verfolgt. Grundaussage dieser Vorgehensweise ist, dass nur die kritischen Bereiche einer Rücken- bzw. Armlehne nachzuweisen sind, die für den größten und den kleinsten Sitzabstand (Seat Pitch Range) in der Kopfaufschlagzone liegen. Wenn dieser Nachweis vorliegt, können die Sitze mit jedem Sitzabstand aufgestellt werden, der innerhalb des oben genannten Seat Pitch Ranges liegt. Der Ansatz geht sogar soweit, dass es gleichgültig ist wie der Sitz aussieht auf dem der Passagier sitzt. Ausschlaggebend für die HIC Betrachtung sind nur die Rückenlehne (inkl. Anbindung), die Armlehne bzw. andere Strukturelemente im Auftreffbereich.

Das folgende Bild zeigt einen typischen Row-to-Row Versuch mit zwei Doppelsitzen und zwei Dummies auf dem hinteren Sitz. In diesem speziellen Versuch werden zwei unterschiedliche Bereiche der Rückenlehne nachgewiesen.

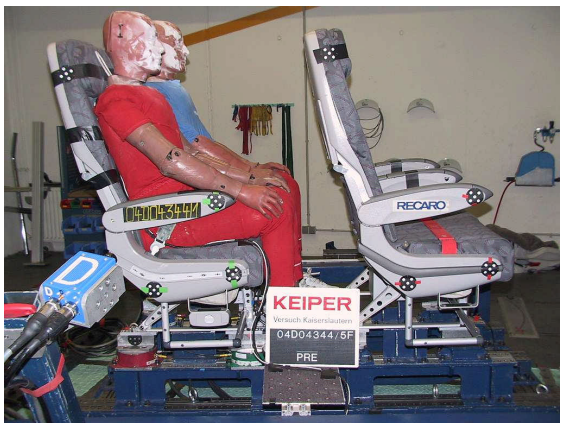


BILD 5. Typischer Aufbau für einen Row-to-row Versuch

Einen weiteren typischen Versuch zeigt das folgende Bild, in dem die Sitze versetzt zueinander angeordnet sind. Hier ist der Auftreffbereich die Kante der Rückenlehnen bzw. der hintere Bereich der Armlehne zwischen den beiden Rückenlehnen des vorderen Sitzes.

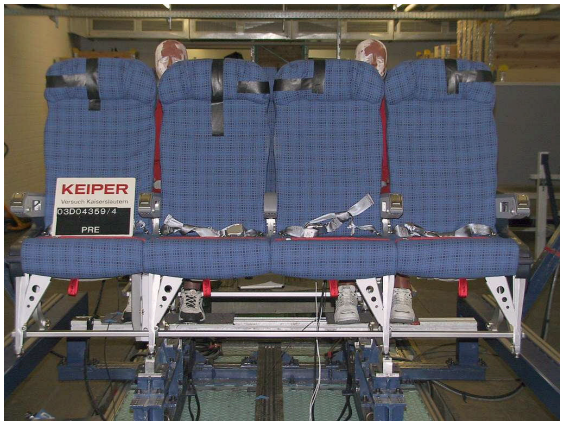


BILD 6. Typischer Aufbau für versetzt zueinander angeordnete Sitze

In den folgenden Bildern sind einige typische Auftreffbereiche dargestellt.

BILD 7. Auftreffbereich im oberen Teil der Rückenlehne (Gesichtabdruck auf Bezug)

BILD 8. Auftreffbereich im Randbereich

BILD 9. Auftreffbereich Außenkante Rückenlehne – Hinteres Ende Armlehne

Das im BILD 10 dargestellte Diagramm zeigt die Beschleunigungskurven für den im BILD 8 gezeigten Versuch. Die oberen Kurven stellen die Kopfbeschleunigungen in x-, y- und z-Richtung dar, wobei die x-Richtung in Richtung der Nase zeigt. Die untere Kurve zeigt die resultierende Beschleunigung, die der HIC-Berechnung zu Grunde liegt. Die erste Spitze stellt den ersten Aufprall auf der Rückenlehnen dar. Durch diesen Impuls versagt das erste Crashelement und die Rückenlehne klappt nach vorne weg. Im weiteren Verlauf trifft der Dummy nochmals im Bereich der Literaturtasche relativ heftig auf die Rückenlehne – dies bildet die zweite Spitze.

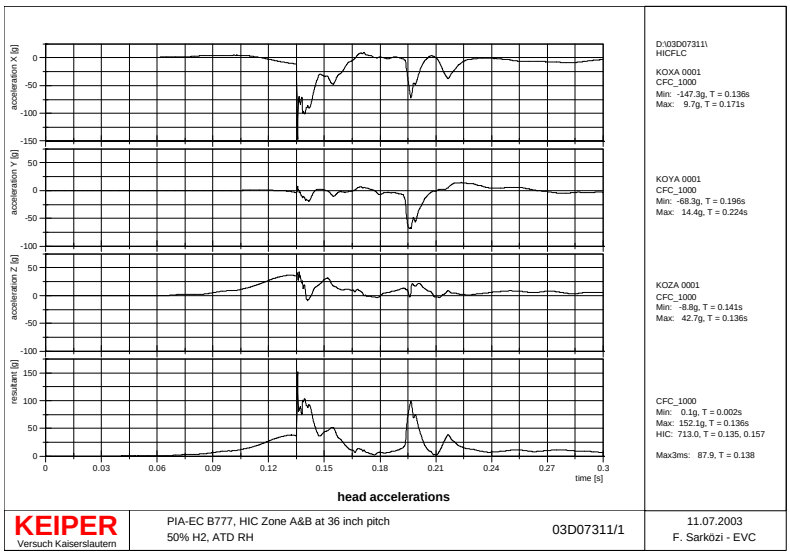


BILD 10. Typische Beschleunigungskurven bei einem Kopfaufschlagsversuch

3.2.1.2. Kopfkreisermittlung (Head Path Measurement)

Die Ermittlung des Kopfkreises sollte, soweit noch nicht aus vorangegangenen Versuchen bekannt, am Anfang einer Versuchsserie zum Kopfaufschlag stehen. Bei diesem Versuch wird der Kopf des Dummies mit speziellen Marken versehen. Der Versuch wird unter 0° in Schlittenlängsrichtung durchgeführt. Außer der Sitzstruktur sind bei diesem Versuch auch der Sitzgurt und das Sitzkissen von entscheidender Bedeutung. In diesem Versuch wird auch die Bewegungskurve für die Knie ermittelt. Die Auswertung der Daten erfolgt über ein Videoauswertesystem.

Der Versuch wird auch als Ersatz für einen Kopfaufschlagversuch auf ein Hindernis genutzt, das vor dem Passagier angebracht ist.

An der unten abgebildeten Kopfbewegungskurve erkennt man sehr schön die Änderung der Bewegungsrichtung des Kopfes. Anfänglich überwiegt die Vorwärtsbewegung aber nachdem der Gurt völlig gestreckt ist, rotiert der Oberkörper des Dummy stärker und im weiteren Verlauf überwiegt die Abwärtsbewegung.

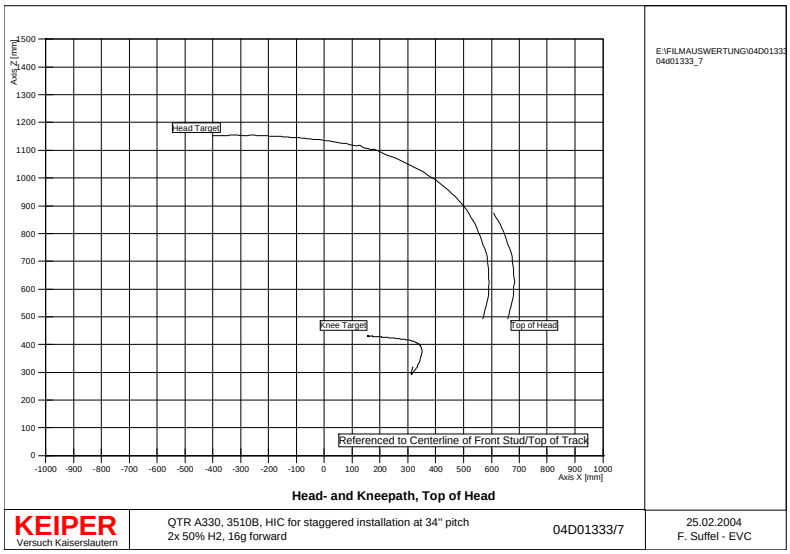


BILD 11. Typischer Kopfkreis

BILD 12. Versuch zur Ermittlung des Kopfkreises

3.2.2. Max. Oberschenkelbelastung bei Kniekontakt

Die maximale Belastung für den Oberschenkel (Femur Load) wird parallel zu dem Kopfaufschlagversuch mit dem geringsten Sitzabstand gemessen. Hierbei wird die Kraft gemessen mit der die Knie des Dummies an der Struktur des Vordersitzes anstoßen. Die Messung erfolgt über spezielle Kraftmessdosen in den Oberschenkeln des Dummies. Der Grenzwert für die Druckkraft, die auf den Oberschenkel wirken darf, ist 10 kN.

3.2.3. Lendenwirbelbelastung

Die Lendenwirbelbelastung wird im 14g Abwärtsversuch ermittelt. Als Grenzwert wurde ein Wert von 6,67 kN festgelegt. Die Messung erfolgt über eine Kraftmessdose im Lendenbereich des Dummies. Der Wert wird für den steifsten als auch den weichsten Platz eines Sitzes gemessen. Die entscheidenden Sitzkomponenten sind hierbei Sitzpfanne und Sitzkissen.

4. SITZENTWICKLUNG

Bei Recaro Aircraft Seating wurde schon Ende der 80er Jahre mit der Entwicklung von Sitzen begonnen, welche die dynamischen Anforderungen erfüllen. Das nachfolgende Bild zeigt einen Economy Class Sitz nach einem der ersten von Recaro Aircraft Seating durchgeführten 16g Vorwärtsversuche. Die Sitzstruktur erfüllte alle damals geltenden rein statischen Zulassungsanforderungen.

BILD 13. Erster 16g Vorwärtsversuch bei RECARO

Im Laufe der nachfolgenden Entwicklungen wurden sukzessive alle Strukturkomponenten entsprechend verbessert (Tragrohr, Sitzteiler, Sitzfuß, Gurtanbindung). Allerdings bedingte die 16g-Fähigkeit, insbesondere bei hoch belasteten Sitzen, immer einen gewissen Gewichtsnachteil. Aber mit der Sitzstruktur für den aktuellen Recaro Economy Class Sitz ist es gelungen, für alle Sitzvarianten eine gleiche Grundstruktur ohne Gewichtsnachteil zu entwickeln. Das nachfolgende Bild zeigt diesen Sitz nach dem gleichen Versuch wie den Sitz im vorangegangenen Bild.

BILD 14. 16g Vorwärtsversuch mit aktuellem Economy Class Sitz

Der Sitz zeigt nur sehr geringe Verformungen, die deutlich unter den zulässigen Grenzwerten liegen. Die Belastung auf den Passagier liegen ebenfalls deutlich unter der kritischen Werten. Gleichzeitig ist die Sitzstruktur sehr einfach gehalten und kann sehr einfach auf die unterschiedlichsten Anforderungen angepasst werden.

Das gutmütige Verhalten im 16g Vorwärtsversuch ist eine wichtige Voraussetzung für die späteren Kopfaufschlagversuche. Falls hier beispielsweise zu große Verformungen auftreten, wird die richtige Voraussage hinsichtlich des Auftreffbereiches extrem schwierig.

5. SPEZIFISCHE PROBLEME

5.1. Verformungen

Die Anforderung, mit der Verformung des Sitzes unterhalb bestimmter Grenzwerte zu bleiben, und das Einhalten der Anforderungen hinsichtlich der Verletzungsrisiken für den Passagier, führen unter Umständen zu konträren Lösungen.

Zunächst besteht die Forderung die plastische Verformung des Sitzes nach einem Unfall möglichst gering zu halten, um dem Flugzeuginsassen noch genügend Platz zum Aussteigen zu lassen. Ein möglicher Konstruktionsansatz zur Berücksichtigung dieser Problemstellung kann eine sehr steife Sitzstruktur mit speziellen Deformationselementen sein. Diese Elemente sollten ein hohes Energieabsorptionsvermögen haben und gleichzeitig die Gesamtverformung möglichst wenig beeinflussen. Solche Strukturen führen aber unter Umständen zu einer deutlichen Erhöhung der Verletzungskriterien (z. B. Lumbar Load im Abwärtsversuch bzw. HIC beim Kopfaufschlag).

Ein anderer Ansatz ist eine Struktur, die einen hohen Anteil von elastischer Verformung zulässt. Hierdurch kann das gleiche Ziel – geringe plastische Verformung nach der Belastung – erreicht werden. Die Belastungen auf den Insassen sind durch die weichere Struktur günstiger. Allerdings erhöhen die großen elastischen Verformungen den Kopfkreis im Vorwärtsversuch.

5.2. HIC Ermittlung

Auch bei der Betrachtung der Optimierung einer Struktur hinsichtlich HIC ergeben sich oft widersprüchliche Ansätze.

- Weiche Strukturen gelten allgemein als günstiger beim Kopfaufschlag als steife Strukturen. Beim Aufschlag auf die Rückenlehne werden sehr oft Crashelemente eingesetzt, die nach ihrem Versagen ein Nach-Vorne-Klappen der Rückenlehne ermöglichen. Dies funktioniert jedoch mit steifen Rückenlehnenstrukturen deutlich besser als mit weichen.
- Zu weiche Strukturen zeigen bei der Messung der bleibenden Verformungen nach einem Kopfaufschlag oft unzulässig hohe Verformungen der Rückenlehne.
- Ein großer Sitzabstand ist beim Kopfaufschlag nicht immer ein Vorteil. Ist er groß genug und es kommt nur zu einem leichten Streifen des Kopfes ist auch der HIC meist sehr gering. Ist der Kontakt aber nur ein klein wenig intensiver, erhält man sehr große HIC Werte da der Dummy in der durch den großen Sitzabstand bedingten relativ langen Beschleunigungsphase viel Energie aufbauen kann.
- Crashelemente sollen im Crashfall versagen – im alltäglichen Einsatz sollen sie aber genauso robust und alltagstauglich sein wie die restlichen Sitzkomponenten.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Einführung der dynamischen Zulassung von Fluggastsitzen hat zu einer deutlichen Erhöhung des Sicherheitsstandards im Kabinenbereich geführt. Durch diese Forderungen sind komplett neue Sitzkonzepte entwickelt worden. Die Sitzhersteller und die Zulieferindustrie haben sich intensiv mit den Anforderungen auseinandergesetzt und mittlerweile stehen auf breiter Basis passende Lösungen zur Verfügung.

Allerdings müssen die konstruktiven Lösungen weiter verfeinert werden, um insbesondere den gestiegenen Forderungen von Seiten der Ergonomie und auch hinsichtlich des Sitzgewichtes gerecht zu werden. Darüber hinaus wird mittlerweile an der weiteren Verbesserung der Sicherheitsstandards gearbeitet, da hier aus dem Automobilbereich zahlreiche neue Impulse kommen (z. B. Side Impact, Verletzungsrisiken für den Nackenbereich).

7. SCHRIFTTUM

[1] Stephen J. Soltis and William J. Nissley, “The Development of Dynamic Performance Standards for Civil Aircraft Seats”; Federal Aviation Administration – U.S. Department of Transportation

[2] CS/JAR/FAR 25; JAR 25 Change 13 and FAR 25.562, Amendment 25-64 (effective 6/16/88)

[3] AC 25.562 1B; “Dynamic Evaluation of Seat restrain Systems & Occupant Protection on Transport Airplanes”; (Draft 2002-12-19)

[4] (E)TSO C127a; (European) Technical Standard Order, Rotorcraft, Transport and Normal and Utility Airplane Seating Systems (if applicable); (effective 2003-10-24)

[5] SAE AS8049 – “Performance Standards for Seats in Rotorcraft and Transport Airplanes” (issued 1997-09)

[6] FAA Memorandum “Simplified Procedure for Addressing the Head Injury Criteria of § 25.562”; Policy Ltr. TAD-96-002; (1996-02-16)