

Diplomarbeit

Erstellung eines Kriterienkataloges
zur Bewertung von Konzepten zur
individuellen Sitzplatzklimatisierung
in Passagierflugzeugen

in Zusammenarbeit mit:

EADS Airbus GmbH; Hamburg

Verfasser: Kenan Sönmez
Abgabedatum: 31. Oktober 2000



Fachhochschule Hamburg
Fachbereich Fahrzeugtechnik
Berliner Tor 5
20099 Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

EADS Airbus GmbH
Kreetslag 10
D - 21129 Hamburg

Verfasser: Kenan Sönmez
Abgabedatum: 31. Oktober 2000

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. D. Scholz, MSME
2. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. H. Zingel

Industrieller Betreuer: Dipl.-Ing. G. Mühlthaler

Kurzreferat

In dieser Diplomarbeit werden verschiedene Konzepte zur individuellen Klimatisierung in Passagierflugzeugen mittels einer ausgewählten Bewertungsmethode untersucht und bewertet. Das eigentliche Ziel dieser Arbeit ist, einen Kriterienkatalog zu entwerfen, mit dessen Hilfe die verschiedenen Konzepte hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Passagierflugzeugen bewertet werden können.

Am Anfang der Arbeit wird auf grundlegende Informationen über die Klimatisierung in Passagierflugzeugen eingegangen. Nach einer Literaturrecherche folgt die Erklärung der Bewertungsverfahren und als letztes die Auswahl einer bestimmten Bewertungsmethode. Folglich wird für diesen speziellen Fall "Individuelle Sitzplatzklimatisierung" ein bestimmtes Bewertungsmodell aufgestellt. Danach wird in dieser Arbeit das erarbeitete Modell am Beispiel der individuellen Klimatisierung dargestellt. Erst folgt die Beschreibung des Kriterienkataloges und die Darstellung der Konzepte. Schließlich folgt die Bewertung und das Ergebnis der Konzepte zur individuellen Sitzplatzklimatisierung.

Die Verkehrsflugzeuge der nächsten Generation werden für den Passagier eine Vielfalt von Möglichkeiten bieten. Ziel der gesamten Untersuchung ist die Verbesserung des thermischen Komforts für den einzelnen Passagier.

Erstellung eines Kriterienkataloges zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen

Diplomarbeit nach §21 der Prüfungsordnung. Die Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit mit der EADS Airbus durchgeführt.

Hintergrund

Im Rahmen eines nationalen Forschungsprogramms sollen Verfahren zur individuellen Beeinflussung des Klimakomforts von Flugpassagieren untersucht und entwickelt werden. In Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen werden hierzu verschiedene Konzepte erarbeitet. Ziel der Arbeit ist die Auswahl von optimalen Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung mittels eines geeigneten Konzeptbewertungssystems.

Aufgabe

In einem ersten Schritt sollen in einer Literaturrecherche Bewertungsverfahren zur Konzeptauswahl dargestellt und ein geeignetes ausgewählt werden. Auf dieser Basis soll dazu ein Kriterienkatalog entworfen und realisiert werden, mit dessen Hilfe die verschiedenen Konzepte hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Passagierflugzeugen bewertet werden können. Es existieren bereits Kataloge, die die Anforderungen der Passagiere an Klima- und Sitzkomfort umreißen. Diese sollen ergänzt werden um Kriterien, die u.a. die system- und einbautechnischen Randbedingungen der Flugzeugkabine beschreiben sowie eine Beurteilung der Realisierbarkeit gestatten. Die verschiedenen Konzepte sollen anhand dieser Kriterien beurteilt werden. Die Einzelbeurteilungen sollen mit Hilfe des ausgewählten Bewertungssystems strukturiert und gewichtet werden. Das Ergebnis soll dann die Priorisierung geeigneter Klimatisierungskonzepte gestatten. Zum Abschluß der Arbeit kann gegebenenfalls für favorisierte Klimatisierungskonzepte zusätzlich eine quantitative Bewertung in Form einer Betriebskostenrechnung durchgeführt werden.

Die Ausführung der Arbeit soll in enger Zusammenarbeit mit dem Betreuer bei der EADS Airbus sowie den beteiligten Projektpartnern erfolgen.

Die Ergebnisse sollen in einem Bericht dokumentiert werden. Bei der Erstellung des Berichtes sind die entsprechenden DIN-Normen zu beachten.

Erklärung

Ich versichere, daß ich diese Diplomarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfaßt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

.....
Datum Unterschrift

Inhalt

	Seite
Verzeichnis der Bilder	10
Verzeichnis der Tabellen	12
Liste der Symbole	13
Liste der Abkürzungen.....	14
Verzeichnis der Begriffe und Definitionen.....	15
1 Einleitung	18
1.1 Motivation.....	18
1.2 Aufbau und Ziel der Arbeit.....	20
1.3 Literaturübersicht.....	21
2 Klimaanlage und Raumklima	22
2.1 Die Klimaanlage im Flugzeug	22
2.1.1 Grundsätzliches.....	22
2.1.2 Die Klimaanlage	24
2.2 Mensch und Raumklima	30
2.2.1 Wärmehaushalt des Menschen.....	30
2.2.2 Wärmeübertragung.....	32
2.2.3 Behaglichkeit	33
2.2.3.1 Thermische Behaglichkeit	34
2.2.3.2 Bewertungsgrößen	35
2.3 Individuelle Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen	39
3 Bewertungsverfahren zur Konzeptauswahl	43
3.1 Grundsätzliches.....	43
3.2 Bewertungsverfahren	45
3.2.1 Untersuchung der Bewertungsverfahren nach Erkrath 1984	45
3.2.2 Das Grundmodell der Entscheidungstheorie und das Phasenmodell nach Schmid 1999 (Poschmann 1999)	49
3.2.3 Nutzwertanalyse und VDI - Richtlinie 2225.....	55
3.2.4 Interaktive Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß.....	62
3.3 Zusammenfassung.....	63
4 Bewertungsmodell	64
4.1 Die Methodik der Systemtechnik.....	64
4.2 Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen	67
4.2.1 Grundsätzliches.....	67

4.2.2	Arbeitsschritte beim Grundmodell.....	68
5	Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung.....	71
5.1	Grundsätzliches.....	71
5.2	Einzelmaßnahmen mittels Konvektion.....	74
5.2.1	Größere Luftduschen am Hatrack.....	74
5.2.2	Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft).....	75
5.2.3	Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft.....	77
5.2.4	Servicesäule (Umluft).....	78
5.2.5	Servicesäule mit temperierbarer Zuluft.....	80
5.2.6	Armlehne (Umluft).....	81
5.2.7	Armlehne mit temperierbarer Zuluft.....	83
5.2.8	Heizung des Fußraumes (Umluft).....	84
5.2.9	Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft.....	85
5.3	Einzelmaßnahmen mittels Strahlung.....	87
5.3.1	Strahlungsflächen am Hatrack.....	87
5.3.2	IR Strahler am Hatrack.....	88
5.3.3	IR Strahler an der Rückenlehne.....	89
5.3.4	Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz.....	91
5.3.5	Ohrensessel – Strahlungsschirm / Warmluftteppich.....	92
5.3.6	Seitenwand beheizt.....	93
5.3.7	Seitenwand beschichtet.....	95
5.4	Einzelmaßnahmen mittels Wärmeleitung.....	96
5.4.1	Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche.....	96
5.4.2	Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft).....	97
5.4.3	Sitzheizung.....	98
5.4.4	Fußbodenheizung durch Fußabstreifer.....	100
6	Kriterienkatalog zur Bewertung der Einzelmaßnahmen.....	102
6.1	Grundsätzliches.....	102
6.2	Kriterienkatalog.....	104
6.2.1	Auslegung.....	105
6.2.1.1	Energieverbrauch / -effizienz.....	105
6.2.1.2	Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko.....	105
6.2.1.3	Regelungsaufwand.....	107
6.2.1.4	Lebensdauer.....	109
6.2.2	Gestaltung.....	110
6.2.2.1	Größe, Lage.....	110
6.2.2.2	Raumbedarf, Anpassung.....	110
6.2.2.3	Gewicht.....	111
6.2.2.4	Einbauort, Anordnung.....	111
6.2.2.5	Flexibilität.....	112

6.2.3	Sicherheit	113
6.2.3.1	Brandverhalten, Brennbarkeit	113
6.2.3.2	Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit	113
6.2.3.3	Störanfälligkeit, Dichtigkeit.....	113
6.2.4	Ergonomie.....	114
6.2.4.1	Mensch-Maschine-Beziehung.....	114
6.2.4.2	Design, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung.....	115
6.2.5	Kontrolle	116
6.2.5.1	Einsatzreife, Realisierbarkeit	116
6.2.6	Montage	116
6.2.6.1	Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit.....	116
6.2.7	Gebrauch	117
6.2.7.1	Handhabung, Bedienung.....	117
6.2.7.2	Betriebsverhalten	117
6.2.8	Aufwand.....	118
6.2.8.1	Kosten, Termin	118
6.2.9	Instandhaltung.....	118
6.2.9.1	Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit.....	118
6.2.10	Recycling	119
6.2.10.1	Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit.....	119
6.2.11	Fertigung des Prototypenbau	119
7	Bewertung der Einzelmaßnahmen	120
7.1	Grundsätzliches.....	120
7.2	Entscheidungsmatrix der Bewertungskriterien	127
7.3	Bewertungsmatrix	130
7.4	Diskussion der Ergebnisse	133
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	137
	Literaturverzeichnis	138
	Anhang A Bewertungsverfahren zur Konzeptauswahl	144
A.1	Tabellen und Bilder zur Bewertungsverfahren.....	144
A.1.1	Untersuchung der Bewertungsverfahren nach Erkrath 1984	144
A.1.2	Das Grundmodell der Entscheidungstheorie und das Phasenmodell nach Schmid 1999 (Poschmann 1999)	146
A.1.3	Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß	147
	Anhang B Kundenanforderungen und Richtlinien.....	150
B.1	Kundenanforderungen.....	150
B.1.1	Anforderungen der Betreiber	151

B.1.2	Anforderungen der Passagiere an den thermischen Komfort	151
B.1.3	Anforderungen der Passagiere an das Raumklima	151
B.1.4	Anforderungen der Passagiere an das individuell einstellbare Klima	156
B.1.5	Abweichende Anforderungen der Crew	161
B.2	Richtlinien.....	162
B.2.1	Design Requirements	162
B.2.2	Technical Standard Orders.....	162
B.2.3	Operational Requirements	163
B.2.4	Aerospace Recommended Practice.....	163
B.2.5	Advisory Circular.....	164
B.2.6	National Aircraft Standard Committee	164
B.2.7	Aerospace Standard	164
B.2.8	SAE	164
B.2.9	Airbus Specifications	165
B.2.10	International Standards	165
Anhang C Kriterienkatalog und Excel-Tabellen.....		166
C.1	Kriterienkatalog	166
C1.1	Auslegung	166
C1.2	Gestaltung	169
C1.3	Sicherheit	183
C1.4	Ergonomie.....	187
C1.5	Kontrolle	187
C1.6	Montage	187
C1.7	Gebrauch.....	187
C1.8	Aufwand.....	188
C1.9	Instandhaltung.....	188
C1.10	Recycling	189
C1.11	Fertigung des Prototypenbau	190
C.2	Bewertungsmatrix	191
C.2.1	Bewertung F/C	191
C.2.2	Bewertung B/C.....	196

Verzeichnis der Bilder

Bild 1.1	Weiterentwicklung der Passagiersitze (Recaro)	19
Bild 2.1	Klimatisierung Flugzeug (A320) – Klimaanlage (Air Conditioning Pack).....	24
Bild 2.2	Klimatisierung Flugzeug (A340) – Luftverteilung in der Kabine	25
Bild 2.3	Klimatisierung Flugzeug (A340) – Luftbereitstellung.....	28
Bild 2.4	Klimatisierung Flugzeug (A340) – Systemdiagramm	29
Bild 2.5	PPD als Funktion von PMV, nach Fanger	36
Bild 2.6	PPD als Funktion von PMV, nach Fanger und Untersuchungen des IBP	36
Bild 2.7	Komfortgrenzen der Äquivalenttemperatur (90% Zufrieden); Sommer	37
Bild 2.8	Komfortgrenzen der Äquivalenttemperatur (90% Zufrieden); Winter.....	38
Bild 2.9	Wärmestrom-Verteilung an den Passagieren (Dechow 2000).....	38
Bild 2.10	Simulationsmodell – individuelle Sitzplatzklimatisierung	39
Bild 2.11	LCD-Bildschirm in der Armlehne (B/E Aerospace).....	40
Bild 2.12	LCD-Bildschirme an der Rückenlehne (B/E Aerospace)	40
Bild 2.13	Economy Class Sitz (Recaro)	40
Bild 2.14	Business Class Sitz (Recaro)	40
Bild 2.15	First Class Sitz (Recaro)	40
Bild 2.16	Klimatisierter Fahrzeugsitz (Papst).....	41
Bild 2.17	Querschnittzeichnung eines klimatisierten Fahrzeugsitzes (W.E.T.2000b)	41
Bild 3.1	Ablauf der Sicherheitstechnischen Bewertung (Erkrath 1984).....	48
Bild 3.2	Grundmodell der präskriptiven Entscheidungstheorie (Poschmann 1999).....	50
Bild 3.3	Stufenweise Bestimmung der Gewichtungsfaktoren von Zielen eines Zielsystems nach Zangemeister 1976 (Pahl 1997).....	57
Bild 3.4	Gebäuchliche Wertfunktionen nach Zangemeister 1976 (Pahl 1997).....	58
Bild 3.5	Dominanzmatrix – Binäre Bewertung von Lösungsvarianten (Pahl 1997)	60
Bild 4.1	Vorgehensschritte der Systemtechnik (Pahl 1997).....	64
Bild 4.2	Planungsprozeß	66
Bild 4.3	Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen nach der Methodik der System- technik.....	68
Bild 5.1	Größere Luftduschen am Hatrack	74
Bild 5.2	Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft).....	75
Bild 5.3	Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft	77
Bild 5.4	Servicesäule (Umluft)	78
Bild 5.5	Servicesäule mit temperierbarer Zuluft.....	80
Bild 5.6	Armlehne (Umluft)	81
Bild 5.7	Armlehne mit temperierbarer Zuluft.....	83
Bild 5.8	Heizung des Fußraumes (Umluft).....	84
Bild 5.9	Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft	85
Bild 5.10	Strahlungsflächen am Hatrack	87

Bild 5.11	IR Strahler am Hatrack	88
Bild 5.12	IR Strahler an der Rückenlehne	89
Bild 5.13	Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz	91
Bild 5.14	Ohrensessel – Strahlungsschirm / Warmluftteppich	92
Bild 5.15	Seitenwand beheizt	93
Bild 5.16	Seitenwand beschichtet	95
Bild 5.17	Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche	96
Bild 5.18	Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)	97
Bild 5.19	Sitzheizung	98
Bild 5.20	Fußbodenheizung durch Fußabstreifer	100
Bild 6.1	A) Ein-Aus-Regler (mit ZC) Funktionsschema	107
Bild 6.2	B) Ein-Aus-Regler (ohne ZC) Funktionsschema	108
Bild 6.3	B) Manuelle-Regler Funktionsschema	108
Bild 7.1	Schema eines eindimensionalen Systems	120
Bild 7.2	Bewertungsmatrix (Skizze)	120
Bild 7.3	Beispiel einer Entscheidungsmatrix (Kirsch 1978)	123
Bild 7.4	Drei beispielhafte Bewertungsskalen als Wertfunktionen (Kirsch 1978)	125
Bild 7.5	Entscheidungsmatrix	127
Bild 7.6	Einzelmaßnahmenbewertung (F/C)	133
Bild 7.7	Einzelmaßnahmenbewertung (B/C)	134
Bild A.1	Sicherheitstechnische Methodenmatrix (Erkrath 1984)	144
Bild A.2	Trade-Off zwischen Benutzerfreundlichkeit und Kosten (Poschmann 1999)	146
Bild C.1	Querschnitt F/C, 4er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)	169
Bild C.2	Querschnitt F/C, 5er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)	169
Bild C.3	Querschnitt F/C, 6er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)	170
Bild C.4	Querschnitt B/C, 7er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)	170
Bild C.5	Typische Sitzbefestigung (Airbus 1999a)	172
Bild C.6	Detailzeichnung (Sitzschiene und Sitzbolzen) (Airbus 1999a)	172
Bild C.7	Minimale Quergangbreite (Airbus 1999a)	173
Bild C.8	Abstand zur Trennwand (Airbus 1999a)	173
Bild C.9	Abstand zum Crew-Sitz (Airbus 1999a)	174
Bild C.10	Minimaler Sitzabstand (Airbus 1999a)	174
Bild C.11	Maximale Sitzneigung beim Testen (Airbus 1999a)	175
Bild C.12	Verformung des Sitzes in Längs- und Seitwärtsrichtung (Airbus 1999a)	176
Bild C.13	Typisches Sitz-Befestigungsprinzip (Airbus 1999a)	176
Bild C.14	Anforderungen an die minimale Gangbreite - A340-600 FWD (Airbus 1999a)	177
Bild C.15	Hatrack-Panel (Prinzpskizze)	178
Bild C.16	Weber: Model 7070 First / Business Class Sitz (Weber)	180
Bild C.17	Sitzschienenanordnung – A340-600 FWD (Airbus 1999a)	182

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1	PMV-Index	35
Tabelle 3.1	Wertskala für Nutzwertanalyse und VDI – Richtlinie 2225.....	58
Tabelle 5.1	Kombination von Einbauort und Wirkprinzip.....	73
Tabelle 5.2	Kombinationsmöglichkeiten zwischen Einzelmaßnahmen.....	73
Tabelle 7.1	Liste der Einzelmaßnahmen	121
Tabelle 7.2	Wertskala für die Bewertung der Einzelmaßnahmen.....	124
Tabelle 7.3	Beispiel einer Nutzwertmatrix (Bewertungsmatrix)	126
Tabelle 7.4	Rangfolge und Wichtung der Bewertungskriterien.....	128
Tabelle 7.5	Bewertungsergebnisse nach Rangfolge sortiert.....	135
Tabelle A.1	Beispiel für die Erfassung der Konsequenzen über eine diskrete Punktskala (Poschmann 1999).....	146
Tabelle A.2	Beispiel für eine Bewertung nach dem Scoring-Verfahren.....	146
Tabelle A.3	Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß (Fournier 1998).....	147
Tabelle B.1	PMV-Index	152
Tabelle B.2	PMV-Werte	160
Tabelle B.3	Trockene Wärmeströme [W/m^2]	160
Tabelle C.1	Leistungsdaten von LCD's im Sitz.....	166
Tabelle C.2	Leistungsdaten von Systemen im Sitz.....	166
Tabelle C.3	Wärmeabgabe von ISPSU und SEB.....	167
Tabelle C.4	Leistungsdaten von Lüftern (Ventilatoren-400Hz)	167
Tabelle C.5	Toleranzen-1 (Airbus 1999a)	171
Tabelle C.6	Toleranzen-2 (Airbus 1999a)	171
Tabelle C.7	Business und First Class Sitze.....	181
Tabelle C.8	Definierte Gewichte für Sitztypen.....	181
Tabelle C.9	Daten der Single Aisle und Twin Aisle Airbus Flugzeugen	181
Tabelle C.10	Traglasten für Belastungsarten (Airbus 1999a)	185

Liste der Symbole

<i>A</i>	Alternative (Einzelmaßnahme)
<i>a</i>	Wichtungsverhältnis
<i>B</i>	Bewertungsmaß
<i>clo</i>	Maß für die Bekleidung
<i>G</i>	Gesamtnutzwert einer Alternative
<i>K</i>	Bewertungskriterium
<i>met</i>	Maß für die Aktivität
<i>R</i>	Rangfolge
<i>T</i>	Teilnutzwert
<i>W</i>	Wichtungsfaktor
<i>X</i>	Zeilenkriterium
<i>Y</i>	Spaltenkriterium

Indizes

$()_a$	absolut
$()_i$	Nummer der Bewertungskriterien
$()_j$	Nummer der Alternative (Einzelmaßnahme)
$()_n$	normiert

Liste der Abkürzungen

A/C	Aircraft
B/C	Business Class
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN EN	Europäischer Norm
FAR	Federal Aviation Regulations
F/C	First Class
FH	Flight hours
GHOST	Goal Hierarchy and Objectives Structuring Technique
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
IFE	In Flight Entertainment
ISPSU	Inseat Power Supply Unit
JAR	Joint Aviation Requirements
MAUT	Multiattribute utility theory
MAVT	Multiattribute value theory
MTBF	Mean time between failures
MTBUR	Mean time between unscheduled removal
NWA	Nutzwertanalyse
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Percentage of Dissatisfied
RST	Resultant Surface Temperature
SEB	Seat Electronic Box
T/O	Take Off
URL	Universal Resource Locator
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ZMMS	Zentrum Mensch-Maschine-Systeme

Verzeichnis der Begriffe und Definitionen

Anforderungsliste

Geklärte Aufgabenstellung durch den Konstrukteur für den Konstruktionsbereich.

Bewertungskriterien

Bewertungskriterien sind objektspezifische sowie allgemein gültige Vorgaben, an denen die verschiedenen Lösungsvorschläge beim Bewerten gemessen werden.

Einzelmaßnahme

Eine einzelne Konzeptidee zur Verbesserung des Klimakomforts in Passagierflugzeugen oder allgemein: Aus Grundprinzipien erdachte Lösungsalternativen zur Verwirklichung der Ziele.

Gewichtungsfaktor

Der Gewichtungsfaktor ist die Kenngröße für die Bedeutsamkeit eines Bewertungskriteriums aus der Sicht des Bewerter. Ihr Zahlenwert entspricht der Rangfolgeposition dieses Kriteriums innerhalb der Kriterienliste des betreffenden Objektes.

individuell

bezeichnet den Unterschied zwischen einzelnen Personen. Einflußgrößen: personengebunden (Kleidung, Aktivität, persönliches Komfortempfinden); ortsgebunden (Gangsitze - Fenstersitze, Türeinfluß, ...)

interdisziplinär

Mehrere Disziplinen umfassend; die Zusammenarbeit mehrerer Disziplinen betreffend; allgemein

intersubjektiv

Von verschiedenen Personen nachvollziehbar.

Konzept

Aus verschiedenen Einzelmaßnahmen zusammengesetzter Entwurf (Lösung).

Lebensdauer

Die Lebensdauer beginnt mit dem Beginn des Flugzeugbetriebs und endet, wenn es nicht länger funktioniert oder auf sparsame Weise reparierbar ist oder mit einer akzeptablen Norm zu überholen ist.

Methode

1. Auf einem Regelsystem aufbauendes Verfahren, das zur Erlangung von wissenschaftlichen Erkenntnissen oder praktischen Ergebnissen dient; 2. Planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels.

MTBF (Mean time between failures)

Mittlere Zeit zwischen Fehlerbehebung (Wartung)

MTBUR (Mean time between unscheduled removal)

Mittlere Zeit zwischen unvorhersehbarer Entfernung

Nutzwertanalyse

“Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen.“ (Zangemeister 1976, S. 45).

PMV

Maß für thermisches Komfortempfinden

PPD

Anteil thermisch unkomfortabel Empfindender

Sicherheitstechnische Bewertung

“Es umfaßt den Vergleich von sicherheitstechnischen Eigenschaften und Sachverhalten, die sich auf Personen, Gegenstände und Systeme beziehen, mit Werten, die intersubjektiv, wenn möglich objektiv, Sicherheit bedeuten.“ (Erkrath 1984, S. 124)

System

Gesamtheit geordneter Elemente, z.B. Funktionen oder technisches Gebilde, die aufgrund ihrer Eigenschaften durch Relationen verknüpft und durch Systemgrenze umgeben ist. Bei uns: “Individuelle Sitzplatzklimatisierungs-System“

Trade-Off

Ist eine Austauschrate

Verfahren

vorgehen, handeln, agieren, sich verhalten, eine bestimmte Methode anwenden, einen bestimmten Weg einschlagen.

Ziel

In dieser Arbeit spricht man von verschiedenen Zielen: 1. Ziele der Diplomarbeit; 2. Ziele des zu entwerfenden Systems; 3. Ziele als Bewertungskriterien (sog. Zielkriterien)

Begriffspaare

Begriffspaar global – lokal:

global

über gesamte Person gemittelt

lokal

körperteilspezifisch (z.B. Unterschied Kopf - Fuss)

Begriffspaar Komfort – Klima:

Komfort

an Personen gebunden

Klima

an einen Raum gebunden

Begriffspaar präskriptiv – deskriptiv:

präskriptiv

vorschreibend, festgelegten Normen folgend; nicht nur beschreibend, sondern auch Normen setzend; Gegensatz von deskriptiv; auch normativ.

deskriptiv

beschreibend.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Es werden im Rahmen eines Luftforschungsprogramms verschiedene Verfahren zur individuellen Klimatisierung des Passagiers in Passagierflugzeugen der nächsten Generation untersucht und entwickelt. Ziel der gesamten Untersuchung ist zum einen die Verbesserung des thermischen Komforts für den einzelnen Passagier, zum anderen sollen zusätzlich die lufthygienischen Aspekte und der Kabinenlärm in die Untersuchungen einbezogen werden.

In den Verkehrsflugzeugen der dreißiger Jahre konnten Passagiere noch das Fenster öffnen. Bei Flugzeugtypen, bei denen das nicht möglich war und man dennoch Frischluft wollte, konnte man einen der sogenannten Luftzufuhrschläuche benutzen, die neben den Sitzen in der Wand befestigt waren (Ju52). Automatisch setzte sich die Frischluftzufuhr durch Hochhalten des Schlauches ein. Das war für damalige Zeiten eine sehr gute Verbesserung der Luftversorgung in der Kabine. Man kann sagen, daß das Fliegen in den dreißiger Jahren nicht übermäßig komfortabel war. Heute sieht es, abgesehen von einigen kleinen Zubringerflugzeugen im Regionalverkehr, ganz anders aus. Beim Fliegen in 11.000 Meter Höhe wird ein undichtes Fenster schon zu einem Notfall. Mit den ersten Druckrumpfflugzeugen verschwand auch die Möglichkeit, während des Fluges ein Fenster zu öffnen.

Bei den heutigen Flugzeugen wird die Kabine global klimatisiert. Eine Unterteilung in bis zu acht Klimazonen ist möglich. Der individuelle Belüftungskomfort für den Passagier ist auf einstellbare Luftduschen oberhalb der Sitze beschränkt und die Luftfeuchte ist sehr gering. Außerdem liegen über die Wechselwirkung von thermischem, lufthygienischem, akustischem und optischem Raumklima keine gesicherten Erkenntnisse vor. Deshalb hat man nun bei der EADS Airbus GmbH speziell für Kabinenkomfort eine Abteilung errichtet, die sich mit diesem Thema befassen soll. Das Ziel ist die Demonstration eines Luftversorgungssystems für den Megaliner A3XX oder das Flugzeug der nächsten Generation mit individuellem Komfort am Sitz. Man möchte folgende Ziele erreichen:

- Erhöhung des Klimakomforts von einer derzeitigen Zufriedenheitsrate von günstigstenfalls 80% auf mehr als 90% durch Klimatisierung direkt am Sitz mittels integrierter, individuell einstellbare Systeme
- Erweiterung der heute verfügbaren Simulations- und Meßmethoden des thermophysiologischen Komfortempfindens auf die Erfassung des Empfindens an Kontaktflächen (feuchter Wärmeübergang am Sitz)

- Nachweis des thermischen Komforts in der Simulation und im Versuch unter Verwendung eines im Engineering Mock-up aufzubauenden Passagiersitzdemonstrators
- Anhebung der relativen Luftfeuchte

In dieser Ausarbeitung werden verschiedene Konzepte bezüglich ihrer Eignung für den Einsatz in Passagierflugzeugen der nächsten Generation mit den Kriterien, die die system- und einbautechnischen Randbedingungen der Flugzeugkabine beschreiben, bewertet. Die Konzepte sollen bei der A3XX verwirklicht werden und sollen zuerst für die Passagiere, die in B/C- und F/C-Sitzen fliegen, in Einsatz kommen.



Bild 1.1 Weiterentwicklung der Passagiersitze (**Recaro**)

1.2 Aufbau und Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Auswahl von optimalen Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung mittels eines geeigneten Konzeptbewertungssystems.

Die Grundlagen des gewählten Bewertungsverfahrens und das phasenorientierte Vorgehen werden anhand des Beispiels veranschaulicht. In dieser Arbeit werden mittels eines geeigneten Bewertungsverfahrens, die Einzelmaßnahmen untersucht, bewertet und schließlich ausgewählt.

Der Inhalt dieser Diplomarbeit gibt dem Leser einen kompakten Überblick über die Bewertungsverfahren. Schließlich folgt der Einsatz des gewählten Bewertungsverfahrens am Beispiel der Einzelmaßnahmen. Es ist hier wichtig zu erwähnen, daß der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit verschiedene Einzelmaßnahmen darstellen, die in der Aufgabenstellung als "Konzepte" formuliert werden. Ein Konzept besteht jedoch aus mehreren Einzelmaßnahmen.

Die Informationen über die Erstellung eines Kriterienkataloges zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen sind in diesem Dokument nach dem unten dargestellten Aufbau erarbeitet worden:

- Der Hauptteil der Arbeit enthält **die abstrakten Ausführungen** zum Thema:

Abschnitt 3 beschreibt die untersuchten Bewertungsverfahren zur Konzeptauswahl,

Abschnitt 4 behandelt die Methodik der Systemtechnik und stellt das erstellte Bewertungsmodell und ein ausgewähltes Bewertungsverfahren vor,

Abschnitt 5 enthält die einzeln erarbeiteten Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung und gibt zu diesen eine kurze Beschreibung,

Abschnitt 6 erläutert den erstellten Kriterienkatalog und beschreibt die einzelnen Kriterienpunkte,

Abschnitt 7 bewertet die Einzelmaßnahmen nach den beschriebenen Kriterien, beschreibt die Ergebnisse und stellt eine Auswahl der optimalen Einzelmaßnahmen vor,

Abschnitt 8 faßt die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick in die Zukunft,

Anhang A enthält die Tabellen, die bei den Bewertungsverfahren zum Einsatz kommen

Anhang B enthält die Kundenanforderungen und die Richtlinien, die an die neu entwickelten Systeme gestellt werden,

Anhang C enthält Angaben zu den Bewertungskriterien und Tabellen, die bei der Bewertung benutzt worden sind.

- **Die gesamte vorliegende Arbeit soll als Basis** dienen, um verschiedene Einzelmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Passagierflugzeugen bewerten zu können.

1.3 Literaturübersicht

In dieser Arbeit wurde eine Literaturrecherche zum Thema Bewertungsverfahren in **Kapitel 3.2** durchgeführt. Dieses Kapitel beschreibt nur die Bücher, die dem Leser dieser Arbeit, grundlegende Informationen weitergeben soll.

Recknagel 1997 ist das unter Thermodynamikern das weitestverbreitete Werk mit dem Titel "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik". Dieses Buch verarbeitet das Thema sehr ausführlich und gibt dem Leser in allen Bereichen der Klimatechnik eine sehr detaillierte Übersicht. Das Buch existiert seit der Erstausgabe schon seit über 100 Jahren, die jeweils durch die überarbeiteten Ausgaben aktualisiert worden sind. Heutzutage gehört dieses Buch in Fragen Heizungs- und Kältetechnik zu den wichtigsten unter den Fachleuten.

Rietschel 1994 beschreibt im ersten Band des Gesamtwerkes "Raumklimatechnik" die wesentlichen Grundlagen, die der Ingenieur der Raumklimatechnik für seine Arbeit benötigt. Es werden alle erforderlichen physiologischen, meteorologischen, physikalisch-technischen, chemischen und wirtschaftlichen Grundlagen von qualifizierten Wissenschaftlern und Ingenieuren der jeweiligen Disziplinen abgehandelt. Dieses Buch richtet sich sowohl an Studenten, als auch an den bereits im Fach tätigen Ingenieur oder Techniker.

Außerdem ist es für den Leser wichtig, sich in Fragen "Klimatisierung in Passagierflugzeugen" ein Grundwissen zu schaffen. Deshalb wird in **Kapitel 2** als Einleitung zum Thema "Klimatisierung im Flugzeug" und "Mensch und Raumklima" aus den angegebenen Quellen im Literaturverzeichnis ein Überblick über diese Thematik gegeben.

2 Klimaanlage und Raumklima

2.1 Die Klimaanlage im Flugzeug

2.1.1 Grundsätzliches

Das Wort "Klima" ist in unserem Sprachgebrauch ein häufig verwendetes Wort. Man spricht vom Betriebsklima, vom Arbeitsklima, vom Raumklima, vom politischen Klima und vom Klima unserer Erde. All diese Verwendungen haben das Wort gemeinsam, aber in ihrer Bedeutung sind sie grundverschieden. Wir unterliegen in vielerlei Hinsicht klimatischen Einflüssen. In unserer unmittelbaren Umgebung, im Zwischenmenschlichen, empfinden wir das Beziehungsklima. Doch heute wird dafür eher eine andere Umschreibung verwendet. Man spricht von einer stimmigen oder nichtstimmigen Chemie zwischen Menschen. Gemeint ist in beiden Fällen ein auf Sympathie oder Antipathie basierendes Verhalten. Ganz anders verhält es sich beim Raumklima, bei dem zwar das Gefühl eine Rolle spielt, doch ist das mehr das subjektive Empfinden physikalischer Parameter. Denn trotz einer hohen Temperatur kann es in einem Raum behaglich sein, selbst wenn seine Wände kalt sind.

Nicht nur das Wort haben die Klimate gemeinsam, sondern sie beeinflussen auch unser Wohlbefinden und unsere Existenz. Schließlich haben sich Ingenieure im Flugzeugbau intensive Gedanken zum Klima im Flugzeug gemacht. Denn die Kabine ist das Markenzeichen für das Flugzeug. Sie stellt eine Schlüsselrolle in der Kundenakzeptanz neuer Flugzeuge dar. Der Passagier schließt von der Kabine auf die Technik des Flugzeugs. Deshalb haben die Ingenieure Verfahren entwickelt, die es ermöglichen, im Flugzeug Luftdruck, Lufttemperatur und Luftfeuchte unabhängig von der Höhe, in der es sich befindet, möglichst konstant und angenehm für die Insassen zu halten.

Wie kommt es, daß sich der Passagier in 10 km Höhe in Bezug auf Druck, Temperatur und Belüftung wohl fühlt? In den großen Höhen über 10000 Meter, wo die Flugzeuge heute überwiegend unterwegs sind, könnte der Mensch ohne Schutzhülle nur Sekunden überleben. Zu dünn, zu sauerstoffarm ist die Luft in diesen Regionen über der Erde. Zudem herrschen dort oben arktische Temperaturen von minus 50 Grad und mehr, und der Feuchtigkeitsgehalt der Luft ist sehr gering. Um dennoch in dieser Höhe problemlos reisen zu können, mußte für die Passagiere und Besatzungsmitglieder eine Umgebung geschaffen werden, in der der Aufenthalt angenehm ist.

Der Klimatisierungskomfort an Bord eines Verkehrsflugzeuges wird wesentlich durch die Parameter Frischluftmenge pro Passagier, Kabinentemperatur, Kabinendruck, Luftfeuchte und Raumluftzirkulation bestimmt.

Zur Klimatisierung und Kabinendruckhaltung wird den Kompressoren der Haupttriebwerke verdichtete Umgebungsluft entnommen. Diese hat nach Vorkühlung noch ca. 200°C. Die Klimaaggregate, die sogenannten Packs, bestehend aus einer Kühl turbine und Wärmetauschern erzeugen daraus gekühlte Kabinenfrischluft.

Die Temperatur und Menge der Frischluft wird derart geregelt, daß sich in der Kabine die vorgewählte Temperatur einstellt. Heutzutage weiß man durch Untersuchungen, daß der Mensch im Ruhezustand oder bei leichter Aktivität während des Fluges etwa 0,32 bis 0,37 Kubikmeter Luft in der Stunde benötigt. Der Sauerstoffverbrauch liegt bei 14 bis 18 Liter pro Stunde. Zwischen 12 und 15 Liter Kohlendioxyd werden in der gleichen Zeit vom Körper des Passagiers an die Umgebung abgegeben. Der Passagier in einem vollbesetzten Flugzeug erhält etwa 10 Liter pro Sekunde Gesamtzuluft. Die genaue Einregulierung einer komfortablen Temperatur erfolgt kabinenzonenweise durch Zumischung von heißer Triebwerkszapfluft in die Hauptzuluftleitung für die jeweiligen Kabinenzonen.

Die Isolierung, bestehend aus Glaswolle, in der Kabinenhaut dient der Wärmedämmung und sorgt für angenehme Kabineninnenwandtemperaturen.

Die Klimapacks liefern pro Kabineninsasse mindestens 12 cfm Frischluft. Das entspricht 5,7 Liter pro Sekunde Frischluft. Damit erhält jeder Kabineninsasse mehr als genügend Sauerstoff, um sich wohl zu fühlen. Diese Luftmenge reicht jedoch zur Erzeugung einer befriedigenden Luftzirkulation in der Kabine nicht aus. Um eine angenehme Luftumströmung an jedem Sitzplatz zu erzeugen, wird in einer Luftmischeinheit rezirkulierte gefilterte Umluft zur Frischluft ergänzt. Gleichzeitig erhöht dies die Luftfeuchte.

Der Luftdruck in der Kabine beträgt im Reiseflug ca. 760 mbar. Dies entspricht einer geodätischen Höhe von 2400 Metern, welche für den Menschen aus physiologischer Sicht unproblematisch ist. Das Druckregelungssystem regelt den Kabinendruck durch entsprechende Einstellung der Kabinenluftauslaßventile. Dabei sorgt es bei Steig- und Sinkflug für möglichst sanfte Druckänderungsraten, spürbar vor allem im Sinkflug am Druck auf dem Trommelfell. Einen wichtigen Beitrag zur Lösung der Eingangsfrage liefert nicht zuletzt die Flugzeugstruktur. Diese muß die Druckdifferenz zwischen Kabinen- und Umgebungsdruck von bis zu 580 mbar aushalten.

2.1.2 Die Klimaanlage

“Environmental control system“ (Umwelt-Steuerungs-System) heißt die Einrichtung, die für ein angenehmes Klima an Bord von Verkehrsflugzeugen sorgt. Im Prinzip ist das eine Klimaanlage wie wir sie aus vielen Kaufhäusern oder Büros kennen. Doch die technischen Erfordernisse an die fliegenden Klimamaschinen sind wesentlich anspruchsvoller als für die auf der Erde. Sie arbeiten Umweltfreundlich und sind völlig FCKW frei. Nach der grundsätzlichen Sicherheitsphilosophie der Luftfahrt muß es zudem in jedem Flugzeug mindestens zwei Anlagen geben. In den Airbus Mustern sind zwei solcher Klimaanlagen (Air Conditioning Pack) vorhanden, es gibt aber auch Flugzeugmuster mit drei Packs wie z.B. die Boeing 747. Jede arbeitet unabhängig voneinander. Bei Ausfall eines Systems muß das Flugzeug jederzeit mit klimatisierter Luft versorgt werden können. Hunderte Meter von Rohren und Leitungen sind unter dem Kabinenboden, in den Decken und hinter den Seitenwänden verlegt, um die Luft zu verteilen. Durch kleine Schlitze an den Seitenwänden und über den Gepäckanlagen strömt die Zuluft in die Kabine und wird am Boden unterhalb den Fenstern wieder abgeführt und teilweise über die sogenannten Recirculationfans wieder in das System zurückgeführt. Bei den meist eisigen Außentemperaturen, in denen sich das Flugzeug bewegt, könnte man annehmen, daß die Luft für die Passagiere in der Kabine stark aufgeheizt werden müßte. Bei den alten Propellermaschinen ohne Klimaanlage war dies auch der Fall.

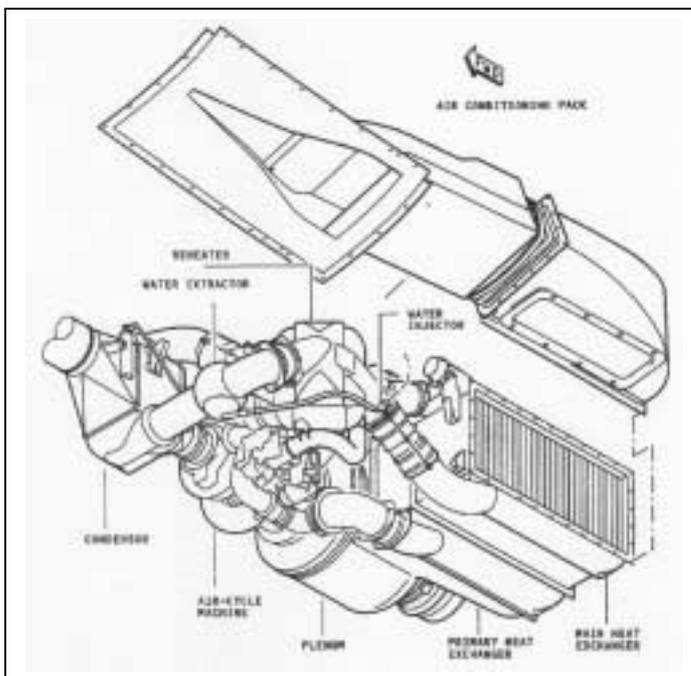


Bild 2.1 Klimatisierung Flugzeug (A320) – Klimaanlage (Air Conditioning Pack) (EADS Airbus GmbH)

Die Außenluft von zirka minus 20 Grad mußte auf etwa 20 Grad aufgeheizt werden. Doch heute, im Jet-Zeitalter ist es genau umgekehrt. Die Luft muß gekühlt werden, denn sie kommt direkt aus den heißen Triebwerken. An zwei Punkten, im sogenannten Hoch- und

Mitteldruckverdichter jeder Turbine, wird ein Teil Luft abgezapft. Sie hat hier eine Temperatur von zirka 300 Grad. Unmittelbar nach dem Abzapfen wird sie aufbereitet, auf rund 200 Grad heruntergekühlt und im Druck reduziert. Das wird beispielsweise durch eine luftgelagerte Turbine erreicht, die mit über 50.000 Umdrehungen in der Minute läuft. Danach strömt die Luft durch Leitungen im Flügel und tritt am Flügelrumpfübergang in den Rumpf ein. Im Unterflurraum, wo sich auch die Gepäckräume befinden, fließt ein Teil der immer noch heißen Luft in die sogenannten Packs (Pakete), die Kühlaggregate. Hier kann sie bis unter Null Grad heruntergekühlt werden.

Ein anderer Teil der heißen Luft wird - je nach Temperaturbedarf - später der in den Packs abgekühlten Luft wieder zugeführt. Dabei kommt es natürlich auf das richtige Mischungsverhältnis an. Dies wird über computergesteuerte Ventile erreicht. Zwei Rechnersysteme regeln die Klimaanlage. Beide arbeiten unabhängig voneinander. Das eine System regelt die Kabinentemperatur und das andere die Pack-Auslaßtemperatur.

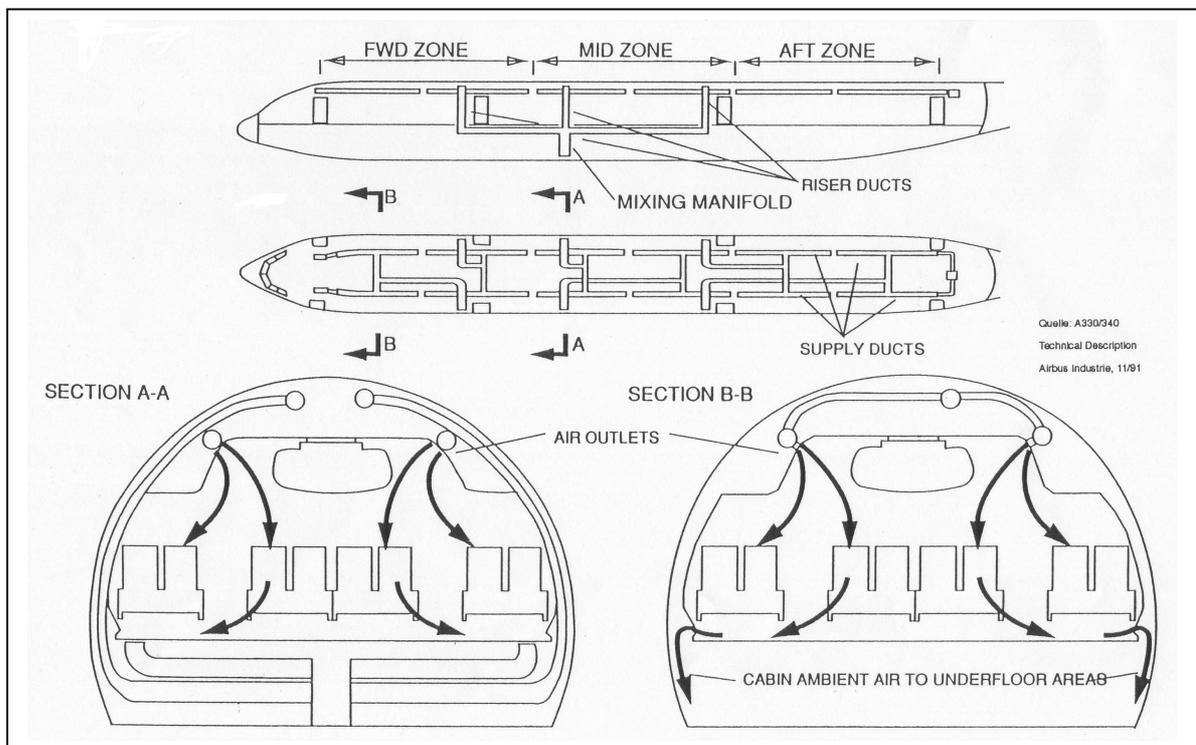


Bild 2.2 Klimatisierung Flugzeug (A340) – Luftverteilung in der Kabine (A330/340 Technical Description, Airbus Industrie, 11/91)

Die Kabinen sind je nach Flugzeugmuster in eine oder mehrere, bis zu sechs Zonen aufgeteilt, wobei das Cockpit in jedem Fall separat versorgt wird. Für jeden dieser Bereiche gibt es einen eigenen Regelkanal im sogenannten Temperatur-Kontroller. Dieser vergleicht ständig die aktuelle Ist-Temperatur mit der voreingestellten Soll-Temperatur. Differiert in einem Bereich der Wert, wird daraus vom Rechner der Anlage eine neue Ventilstellung für diesen Kabinenabschnitt ermittelt. Wenn es beispielsweise zu warm ist, würde der Rechner zunächst ein Kommando an die Ventile an den direkten Heißluftleitungen geben und diese entsprechend weiter schließen. Sollten diese jedoch schon geschlossen sein, würde es einen

Befehl an den Pack-Kontroller geben, der dann von den Packs, also den Kühlaggregaten, zusätzlich kalte Luft anfordert. Sollte es zu kalt in der Kabine geworden sein, lauten die Anforderungsqualitäten genau umgekehrt. Das System reagiert so sensibel, daß die Passagiere normalerweise kaum etwas von den Temperaturschwankungen bemerken.

Die modernen Klimaanlage werden sehr feinfühlig und genau durch Computer gesteuert. Die Piloten im Cockpit stellen eine mittlere Basistemperatur ein, die durch den Kabinenpersonal in der Kabine noch um etwa 1,5 bis zwei Grad nach oben oder unten korrigiert werden kann. Individuelle Empfindungen stehen hierbei meßbaren Daten oft unterschiedlich entgegen. Für Menschen aus wärmeren Klimazonen ist beispielsweise eine Temperatur um 20 Grad fast schon kühl, während sich Bewohner nördlicher Regionen dabei noch im kurzärmeligen Hemd wohl fühlen.

Damit in der Kabine eine Temperatur von etwa 24 Grad Celsius gehalten werden kann, genügt nach bestimmten Randbedingungen bei der einströmenden Luft eine Temperatur von nur 18 Grad. Denn im Flugzeuginneren gibt es bereits verschiedene Wärmequellen. Die Insassen produzieren einen erheblichen Anteil an Wärme. Jeder Mensch strahlt in Ruhestellung rund 100 Watt ab. In einem mit 380 Passagieren besetzten Jumbo-Jet sind das 38.000 Watt. Außerdem entsteht noch Abwärme durch elektrische Geräte in den Bordküchen oder beispielsweise durch die gesamte Beleuchtung und andere elektrische Apparate.

Dennoch spielt eine physikalische Gesetzmäßigkeit eine mitentscheidende Rolle bei der Beurteilung von "zu warm" oder "zu kalt". Um in einem belüfteten Raum eine bestimmte Temperatur zu halten, ist es notwendig, wärmere oder kältere Luft hinzuzufügen. Dabei kann es zu Zugerscheinungen kommen. Genau dieses kann von Passagieren als unangenehm empfunden werden, obschon sich die Temperatur selbst kaum verändert hat. Der Windchill-Faktor spielt hier eine Rolle, also das Gefühl, das der Mensch auf der Haut hat, wenn er dem Luftstrom ausgesetzt ist. Dabei wird eine andere Temperatur empfunden, als die, die in Wirklichkeit herrscht. Besonders unangenehm wird dabei das Anblasen mit kühlerer Luft registriert.

Im Flugzeug gibt es viele Faktoren, durch die ständig die Stabilität der Temperatur beeinflusst wird. Besonders natürlich während des Flugs in großen Höhen, wo extreme Minustemperaturen herrschen. Die Außenhaut des Flugzeugs kühlt sich auf minus 50 bis 60 Grad ab, während im Inneren der Kabine 24 Grad plus herrschen sollen. Natürlich ist die Kabine durch hochwertiges Material gut isoliert, dennoch bleiben an einigen Stellen sogenannte Kältebrücken zur äußeren Umgebung. Man spricht von Kältestrahlung in der Kabinenwand.

In zehn Kilometer Höhe über der Erde gibt es keine Wolken und Regen mehr. Die Luft ist hier sehr trocken. Von außen kann also keine Feuchtigkeit in die Kabine geholt werden. Dies ist ein Problem, für das die Experten von Klimaanlage schon lange nach einer Lösung suchten und weiter suchen werden. Früher wurde nur aufbereitete und temperierte Außenluft

direkt in die Kabine eingespeist. Inzwischen haben die Ingenieure ein wirkungsvolleres Verfahren entwickelt, das sogar die relativ geringe Luftfeuchtigkeit an Bord mildert. "Rezirkulation" heißt das Verfahren, was soviel wie "Wiederverwendung" bedeutet. Beim Atmen scheidet der menschliche Körper Feuchtigkeit aus, die in der Luft gelöst wird. Dies ist leicht meßbar.

Bei gleichen Bedingungen herrscht in einer leeren Kabine eine relative Luftfeuchtigkeit von zwei Prozent, in einer vollbesetzten geht diese auf 15 Prozent hoch. Dieses Phänomen wird ausgenutzt. Mehr als 20 mal in der Stunde oder fast alle drei Minuten wird die gesamte Luftmenge in der Kabine ausgetauscht. Diese Rate liegt weit über der in klimatisierten Büros. Allerdings wird bei modernen Flugzeugen die Luft nicht komplett ausgetauscht. Denn die in großen Höhen von außen zugeführte Luft ist bekanntlich so trocken, daß sie die ohnehin schon geringe relative Luftfeuchtigkeit nur noch reduzieren würde. Dies war denn auch ein Grund, weshalb die Techniker neue Wege bei der Luftaufbereitung in Flugzeugklimaanlagen einschlugen. Heute wird ein Teil der Luft, etwa 40 Prozent, gesondert abgesaugt und durch spezielle Filter geleitet, so daß sie von Rauch und Bakterien gereinigt ist. Erhalten dagegen bleibt die Feuchtigkeit, die in der Kabine von den Menschen abgegeben wurde. In einer Mischkammer wird die wiederaufbereitete Luft mit der aus den Aircondition-Packs gemischt und schließlich wieder in die Kabine zurückgeleitet.

Außerdem entsteht durch dieses Verfahren ein weiterer Effekt: Der Treibstoffverbrauch bei Düsentriebwerken ist auch von der jeweiligen Luftzufuhr beziehungsweise -entnahme abhängig. Je mehr Luft, beispielsweise für die Klimaanlage abgezapft wird, desto höher steigt der Treibstoffbedarf. Durch die Wiederverwendung der Luft verringert sich die Menge der von den Triebwerken abgeleiteten Luft. Dies bedeutet also eine nicht unerhebliche Treibstoffersparnis. Auf jeden Fall aber erhöht sich die relative Luftfeuchtigkeit auf Werte um 15 Prozent in der Economy Class. Das ist natürlich nicht viel, denn normalerweise sind wir an Luftfeuchtigkeit zwischen 40 und 70 Prozent gewöhnt. Eine Alternative wäre eine künstliche Luftbefeuchtung. Doch dadurch können technische Probleme auftreten; zum Beispiel die Gefahr von Korrosion. An den kalten Außenwänden würden sich winzige Wassertröpfchen der Luft niederschlagen. Zudem liefe dieses Wasser in die Isolierschicht, die sich hinter der Innenraumverkleidung verbirgt. Sie würde sich vollsaugen, was schon bei der heutigen geringen Luftfeuchtigkeit zu unangenehmen Begleiterscheinungen führen kann. Irgendwo, meist an schwer zugänglichen Stellen sammelt sich Wasser und verursacht Korrosion des Metalls. Für etwas mehr Luftfeuchtigkeit hätte man sich zusätzlichen Wartungsaufwand und vielleicht sogar ein Sicherheitsproblem aufgebürdet. Außerdem beeinflußt der bei Flugzeugen wichtige Faktor Gewicht die Überlegungen. Da das zusätzlich erforderliche Wasser nicht der Umgebungsluft entnommen werden kann, müßte es in Tanks mitgenommen werden. Um eine relative Luftfeuchtigkeit von zirka 35 Prozent zu erreichen, käme man bei einem Airbus A340 auf eine Menge von rund 1000 Litern für einen 15stündigen Flug, was einem Gewicht von immerhin 1.000 Kilogramm entspricht. Darüber hinaus würde man zusätzlich vor einer logistischen Hürde stehen: Man müßte nämlich auf allen anzufliegenden Flughäfen der Welt

demineralisiertes Wasser zum Wiederauffüllen der Tanks haben. Mineralien und Salz im Wasser würden die Anlage verstopfen, es sei denn, man würde zusätzlich aufwendige und kostspielige Abscheidesysteme einbauen.

Schließlich haben gerade neuste Untersuchungen der EADS Airbus an Bord eines Airbus A340 der Lufthansa und eines Airbus A310 der Swissair ergeben, daß die Luftqualität in den Kabinen erheblich besser als in den meisten Wohn- und Arbeitsräumen ist. Bei einigen Schadstoffen liegt die Belastung sogar unter der Höchstgrenze die für Operationsäle erlaubt sind (**Lufthansa Report**).

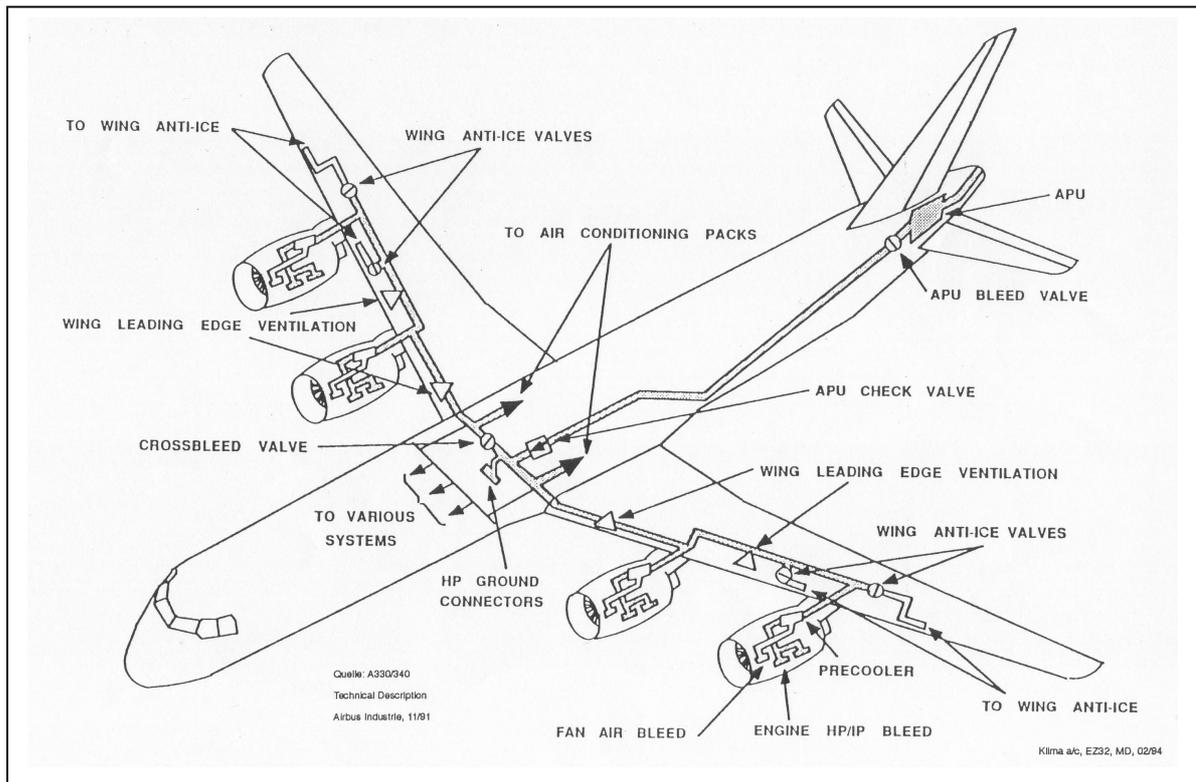


Bild 2.3 Klimatisierung Flugzeug (A340) – Luftbereitstellung
(A330/340 Technical Description, Airbus Industrie, 11/91)

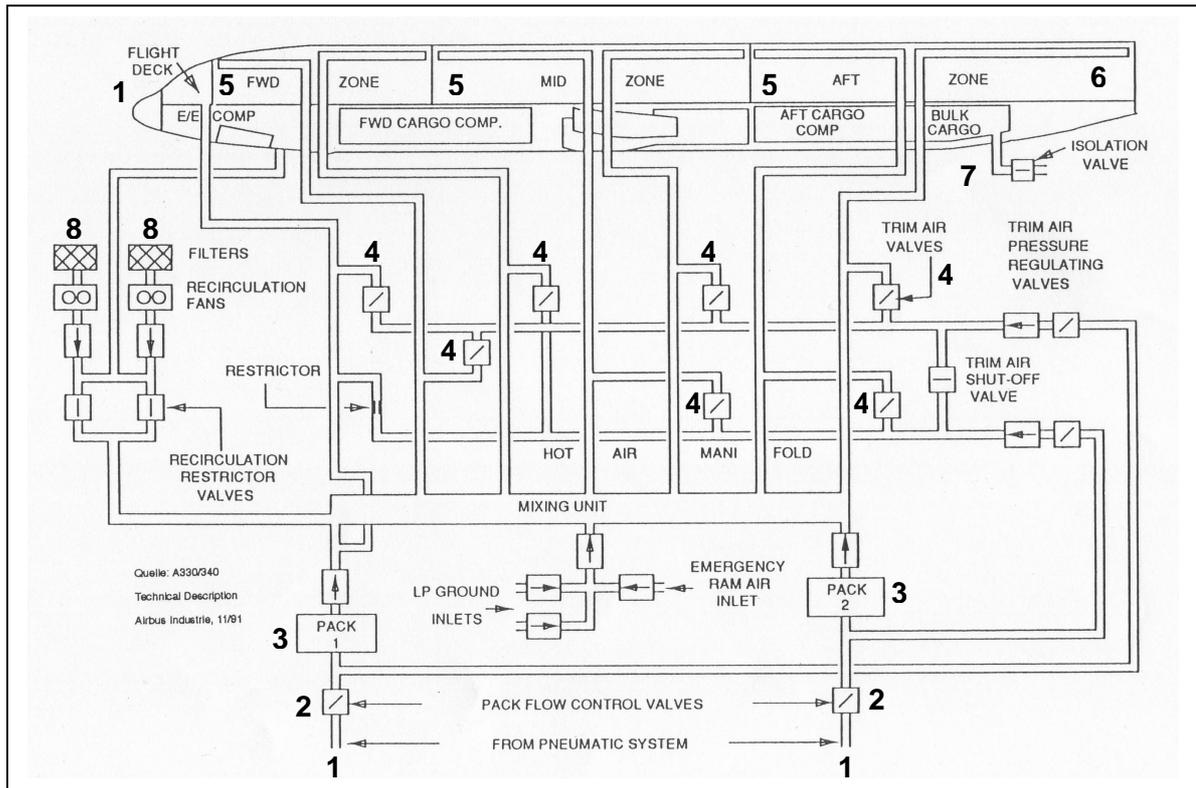


Bild 2.4 Klimatisierung Flugzeug (A340) – Systemdiagramm
(A330/340 Technical Description, Airbus Industrie, 11/91)

- 1 Regulierung der Zapfluft-Zuluft vom Triebwerk:** Die Frischluft vom Triebwerks-Kompressor wird auf einen konstanten Druck gebracht und auf etwa 200 Grad vorgekühlt.
- 2 Kontrollventil:** Die Frischluftmenge, die in die Kabine strömen soll, wird hier gesteuert. Im Cockpit kann die Frischluftmenge manuell vorgegeben werden.
- 3 Klimaanlage:** Die Luftkühlung erfolgt durch die sogenannten Packs. Diese bestehen aus einer Kühlturbine, Wasserabscheider und zwei Wärmetauschern.
- 4 Heißluftventil:** Es reguliert die individuelle Warmluftzufuhr für die einzelnen Zonen der Kabine.
- 5 Kabinen-Zone:** Je nach Flugzeugtyp sind die Kabinen in Zonen aufgeteilt, die auch individuell mit unterschiedlicher Lufttemperatur versorgt werden können.
- 6 Absaug-System:** Dadurch wird der Geruch der Galleys (Küchen) und der Toiletten gesondert abgesaugt.
- 7 Auslaßventil:** Es wird computergesteuert reguliert.
- 8 Rezirkulation:** Etwa 40 Prozent der Kabinenluft wird wieder verwendet. Die Luft wird zunächst durch ein Filtersystem geführt, dann in der Misch-Kammer mit frischem Luft vermischt und danach wieder in die Kabine geleitet.

2.2 Mensch und Raumklima

Man hat das Ziel, für den Menschen ein angenehmes Raumklima zu schaffen. “Der Begriff des Raumklimas umfaßt das thermische Klima und die Raumluftqualität“ (**Rietschel 1994**, S.125). Die Aufgabe, ein gewünschtes Raumklima herzustellen, wird heute von raumlufttechnischen Anlagen erfüllt. Auch die Klimaanlage im Flugzeug hat diese Aufgabe, nämlich den Passagieren ein behagliches Raumklima zu schaffen. Das Raumklima ist eine komplexe Größe, die thermische, lufthygienische, akustische und optische Komponenten umfaßt. Sie wirkt auf die Gesundheit und Behaglichkeit des Menschen. So beeinflussen im wesentlichen vier klassische Parameter, Raumlufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung und Luftfeuchte die Wärmeabgabe des Menschen und damit seine thermische Behaglichkeit. Auf der anderen Seite gibt es noch weitere Parameter, die die Luftqualität beeinflussen. Diese sind durch den CO₂-Anteil, Lärm- und Lichteinwirkung sowie deren Zusammenwirken gekennzeichnet. Alle dieser Parameter haben schließlich Einfluß auf das Wohlbefinden des Menschen. Man unterteilt in unserem Fall bei der Untersuchung des „individuell klimatisierten Sitzes“ das Raumklima in ein globales und in ein lokales Raumklima. Nähere Erläuterungen finden sich in dem Anforderungsdokument (**EADS 1999**). Die nachfolgenden Kapitel erläutern detaillierter den Zusammenhang zwischen menschlichem Wohlbefinden und thermischen Einflüssen.

2.2.1 Wärmehaushalt des Menschen

In diesem Kapitel wird der Wärmehaushalt des Menschen näher betrachtet. Als Quelle wurden Daten aus **Recknagel 1997** übernommen. Es soll verdeutlicht werden, wie schwierig es ist, den Menschen, dessen Organismus sehr kompliziert aufgebaut ist, in einen behaglichen Zustand zu bringen.

Der Mensch braucht bei völliger Ruhe im Behaglichkeitszustand die erforderliche Mindestwärmebildung im Körper, den sogenannten “Grundumsatz“ von rund 80 W bzw. 45 W/m² und beim Sitzen ungefähr 60 W/m² (W/m² bedeutet Wärmeabgabe in Watt pro Quadratmeter Körperoberfläche) zur Aufrechterhaltung des Lebens. Es besteht zwischen der im Körper erzeugten und der von ihm abgegebenen oder gespeicherten Wärme ein gewisses Gleichgewicht. Das wird durch die gleichmäßige Körpertemperatur von 37±0,8°C durch das Blut, das im Kreislauf des Menschen zu allen Körperteilen gefördert wird, erreicht. Durch diesen Kreislauf kühlt sich das Blut ab, und zwar desto mehr, je weiter es in die äußeren Glieder wie Finger, Zehen und in die Haut strömt. Danach erfolgt in den inneren Organen und Geweben, wie z.B. Herz, Leber, Nieren, Muskeln, Darm u.a. die Wiedererwärmung. Dies geschieht durch die langsame Verbrennung von Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten, die durch die Einatmung des Luftsauerstoffes ermöglicht werden.

Physikalische Temperaturregelung: Um die äußere Wärmeabgabe des Körpers sich der Körpertemperatur anzupassen, wirken mehrere Faktoren zusammen. Die Wärmeabgabe erfolgt dabei auf mehrfache Weise:

1. durch *Konvektion* der Wärme von der Körperoberfläche,
2. durch *Wärmestrahlung* von der Körperoberfläche an die umgebenden Flächen,
3. durch *Wärmeleitung* an berührenden Flächen, z.B. bei den Füßen, am Gesäß,
4. durch *Verdunstung* von Wasser an der Haut,
5. durch *Atmung*,
6. durch Ausscheidungen, Einnahme von Speisen, Diffusion u.a..

Die unter 6. genannten Einflüsse sind meist so gering, etwa 2...3%, daß sie gegenüber den anderen vernachlässigt werden können, so daß nur die fünf Wärmeverlustquellen Konvektion, Wärmeleitung, Strahlung, Verdunstung und Atmung eine Rolle spielen.

2.2.2 Wärmeübertragung

Es gibt drei verschiedenen Arten der Wärmeübertragung. Die Wärme wird transportiert durch Konvektion, Strahlung und Leitung.

Nach **Recknagel 1997** sind die drei Wärmeübertragungsarten wie folgt definiert:

Konvektion (Wärmemitführung): Die Wärme fließt von einem bewegten Medium (Flüssigkeit oder Gas) an einen festen Körper oder umgekehrt, z.B. von Luft an eine Wand. Die Teilchen befinden sich zueinander in Bewegung.

Strahlung: Die Wärmestrahlung stellt einen Energietransport durch elektromagnetische Wellen dar. Die Wärmeübertragung erfolgt von einem Körper zum anderen ohne materielle Träger.

Wärmeleitung: Die Wärme wird innerhalb eines Körpers von Teilchen zu Teilchen durch intermolekulare Wechselwirkungen weitergeleitet. Die Teilchen befinden sich zueinander in Ruhe.

Die drei Wärmeübertragungsarten kommen im technischen Wärmeprozess überlagert in vielfältigen Formen vor.

2.2.3 Behaglichkeit

Behaglichkeit oder genauer Komfort ist ein weitreichender Begriff. Man kann ihn als eine Annehmlichkeit, behagliche Einrichtung oder als eine Ausstattung mit einem gewissen Luxus vergleichen. In unserem Fall soll es eine Einrichtung sein, die den Passagier im Flugzeug eine thermische Behaglichkeit bzw. thermischen Komfort gewährleisten soll.

Der Mensch als Passagier kann sich wechselnden äußeren Luftzuständen anpassen (akklimatisieren), jedoch gibt es einen deutlichen Bereich, den Behaglichkeitsbereich, innerhalb dessen er sich am wohlsten fühlt. Man kann diesen Bereich nicht genau angeben, da eine große Anzahl anderer Faktoren als Luft ebenfalls die Behaglichkeit beeinflussen wie z.B.:

+ Umschließungsflächentemperatur	+ Luftgeschwindigkeit
+ Luftfeuchte	+ Lufttemperatur
+ Luftqualität	+ Luftdruck
+ Sitz: Wärmeleitung, ...	+ Elektrische Felder
+ Ionenkonzentration	+ Bekleidung
+ Geschlecht	+ Konstitution
+ Gesundheitszustand	+ Aufenthaltsdauer
+ Raumbesetzung	+ Akklimatisation
+ Nahrungsaufnahme	+ Alter
+ Jahreszeit	+ Tageszeit
+ Raumgestaltung und Größe	+ Farbgestaltung des Raumes
+ Ausblick	+ Lüfterneuerung
+ Aktivitätsgrad	+ Beleuchtung
+ Geräusche – Geräuschemissionen	+ Gerüche
+ Kontakt zur Umwelt	+ psychische Elemente

Wie man sieht gibt es eine Menge von Faktoren, die einen Einfluß auf die Behaglichkeit des Menschen haben. Außer der **Kleidung** und der **Aktivität** sind es im wesentlichen vier Elemente des Luftzustandes und des Umfeldes, die für die thermische Behaglichkeit von Bedeutung sind:

die Lufttemperatur,
die Luftfeuchte,
die Luftbewegung (Luftgeschwindigkeit) sowie
die Temperaturen der Umschließungsflächen.

Im nächsten Kapitel wird die thermische Behaglichkeit, was für uns von höherer Bedeutung ist, näher erläutert.

2.2.3.1 Thermische Behaglichkeit

Die thermische Behaglichkeit werden durch Kälterezeptoren in der gesamten Haut und durch Warmrezeptoren im vorderen Stammhirn des Menschen bestimmt. Diese Thermorezeptoren steuern den Wärmehaushalt des Menschen. Wenn die Hauttemperatur unter 33°C sinkt, hat man das Gefühl, daß man friert. Wenn die Stammhirntemperatur, die praktisch gleich der Trommelfelltemperatur ist, 37°C überschreitet, setzt im Körper des Menschen Schwitzen ein. Also kann man sagen, daß die thermische Behaglichkeit dann vorliegt, wenn vorgenannte Schwellenwerte nicht unter- bzw. überschritten werden. Außerdem können durch die Kälterezeptoren, die an der Hautoberfläche angeordnet sind, eine Richtungsempfindlichkeit bestehen. Das kann man z.B. als Richtungsempfindlichkeit gegenüber Zugluft oder kalter Wand ansehen.

Für die thermische Behaglichkeit sind von Bedeutung:

- die Lufttemperatur
- die Luftfeuchte
- die Luftbewegung (Luftgeschwindigkeit)
- die Temperaturen der Umschließungsflächen (Wandoberflächentemperaturen)
- Bekleidung und Aktivitätsgrad (Wärmeleitung: Sitzfläche,...)

Nach **Recknagel 1997** sind zur Festlegung eines bestimmten Luftzustandes vier Daten erforderlich. Die Lufttemperatur, die mittlere Wandoberflächentemperatur, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit.

Man unterscheidet zum einen das globale Raumklima und zum anderen das lokale Raumklima. Der thermische Komfort des Menschen hängt wesentlich von den Parametern des Umgebungsklimas ab. Wird der menschliche Körper als Ganzes betrachtet, so können Anforderungen an ein **globales Raumklima** abgeleitet werden, um den thermischen Komfort der Passagiere sicherzustellen. Schließlich erfolgt die Quantifizierung des globalen Raumklimas mittels dafür geeigneter physikalischer Klimagrößen. Die Temperaturen der Luft und der Umschließungsflächen, Luftgeschwindigkeiten und Luftfeuchte.

Die Komfortbeurteilung des Passagiers umfaßt auch lokal unterschiedliche thermische Bedingungen. Selbst wenn sich eine Person im Hinblick auf den globalen thermischen Komfort im neutral Zustand befindet, können Körperteile Bedingungen ausgesetzt sein, die unkomfortabel sind.

Dieser Sachverhalt wird durch die Anforderungen an ein **lokales Raumklima**, bei dem einzelne Körperteile betrachtet werden, berücksichtigt. Die Anforderungen können dann mit Hilfe der Äquivalenttemperatur und entsprechenden Grenzwerten für einzelne Körperteile in Komfortdiagrammen spezifiziert werden.

Schließlich erfolgt die Quantifizierung des Komforts mittels entsprechender Komfortbewertungsgrößen: PMV, PPD, Äquivalenttemperatur

2.2.3.2 Bewertungsgrößen

Bewertungsmaß: PMV- und PPD- Index nach Fanger (**DIN ISO 7730; Mayer 1998**) :

Der *PMV-Index* (Predicted Mean Vote – erwartete mittlere Beurteilung) ist eine Zahl, die den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand einer 7-stufigen Klimabeurteilungsskala vorhersagt:

Tabelle 2.1 PMV-Index

PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3
Beurteilung	Heiß	Warm	etwas warm	neutral	etwas kühl	kühl	kalt

Der PMV-Index beruht auf dem Wärmegleichgewicht des menschlichen Körpers. Wenn die im Körper erzeugte Wärme gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist, liegt ein thermisches Gleichgewicht vor. Für verschiedene Kombinationen von Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung, relativer Luftfeuchte, Aktivität und Bekleidung kann mit Hilfe der sogenannten Fangergleichung (**DIN ISO 7730**) ein PMV-Wert ermittelt werden.

Der *PPD-Index* (Predicted Percentage of Dissatisfied – Prozentsatz erwarteter Unzufriedener) stellt die quantitative Voraussage der Anzahl der mit einem bestimmten Umgebungsklima unzufriedener Menschen dar und kann durch Rechnung aus dem PMV-Wert ermittelt werden. In **Bild 2.5** ist der PPD-Wert als Funktion des PMV-Wertes aufgetragen. Nach neueren Untersuchungen ergibt sich der minimale (beste) Wert für PPD von ca. 15 % Unzufriedenen bei einem PMV-Wert von 0.5 (**Bild 2.6**).

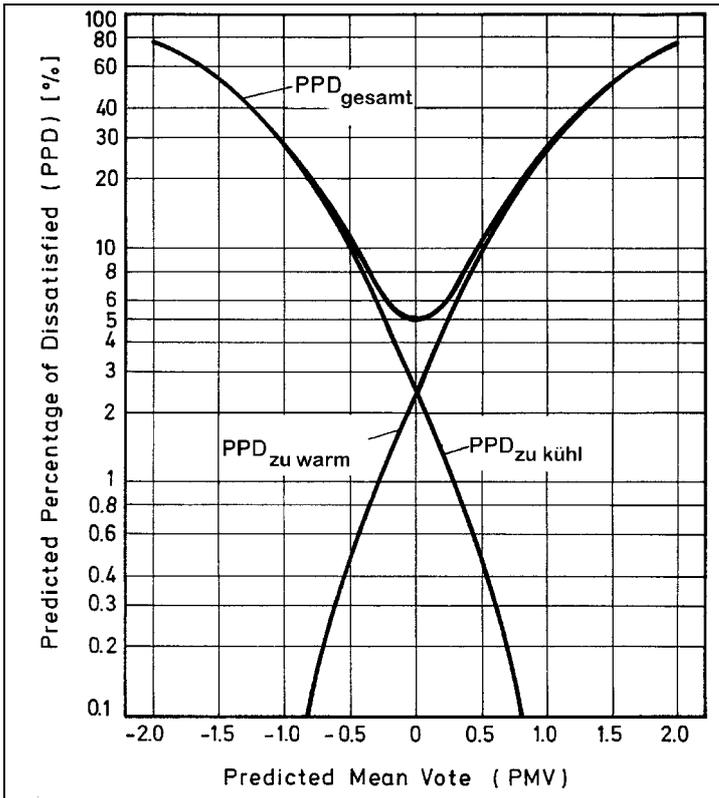


Bild 2.5 PPD als Funktion von PMV, nach Fanger

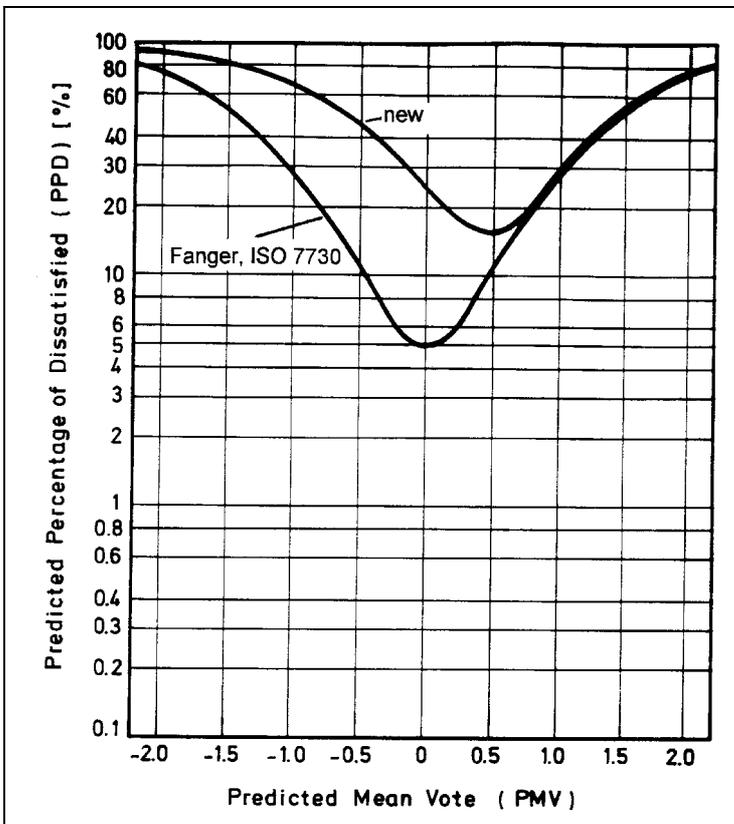


Bild 2.6 PPD als Funktion von PMV, nach Fanger und Untersuchungen des IBP

Bewertungsmaß: Äquivalenttemperatur (Wahl 1997)

Der PMV-Wert stellt eine globale Bewertung des Klimas für den gesamten Körper dar. Deshalb ist eine Bewertung des lokalen Komforts mit Hilfe des PMV-Index nicht möglich. Die Verwendung der lokalen Äquivalenttemperatur stellt jedoch eine Möglichkeit dar, auch Komfortaussagen zu einzelnen Körperteilen zu machen. Die Äquivalenttemperatur ist eine Klimasummengröße, die den Einfluß der lokalen Luftgeschwindigkeit, der Lufttemperatur und der Umschließungsflächentemperaturen unter Berücksichtigung direkter Strahlung (z.B. Solarstrahlung durch Fenster) zusammenfaßt. Außerdem kann für Körperteile der Wärmestrom durch Leitung an den Kontaktflächen erfaßt werden.

Die Äquivalenttemperatur ist die Temperatur eines gedachten Bezugsraums mit nahezu keiner Luftbewegung, gleicher Luft- und Umschließungsflächentemperatur, in dem für den Körper bzw. ein Körperteil der gleiche trockene Wärmestrom bei gleicher Oberflächentemperatur vorliegt wie in der realen Umgebung.

Für den gesamten Körper und die verschiedenen Körperteile können Grenzwerte der Äquivalenttemperatur angegeben werden, so daß bei einer vorliegenden Äquivalenttemperatur innerhalb dieses Bereichs 90 % aller Personen mit dem lokalen Klima zufrieden sind. Die Grenzwerte wurden aus Untersuchungen mit Probanden in Fahrzeugkabinen für unterschiedliche klimatische Lastfälle abgeleitet. In **Bild 2.7** und **Bild 2.8** sind die Kalt- und Warmgrenze beispielhaft für den gesamten Körper und für einzelne Körperteile dargestellt. Die Äquivalenttemperatur kann rechnerisch oder mit Hilfe eines menschenähnlichen, beheizten Klimadummy ermittelt werden.

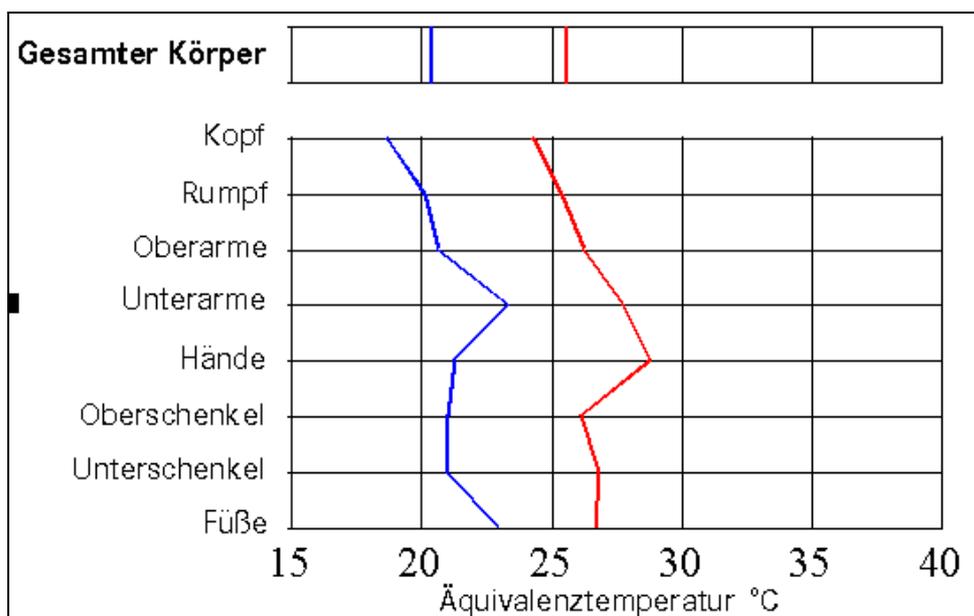


Bild 2.7 Komfortgrenzen der Äquivalenttemperatur (90 % Zufriedenheit); Sommer, ruhig sitzend (EADS 1999)

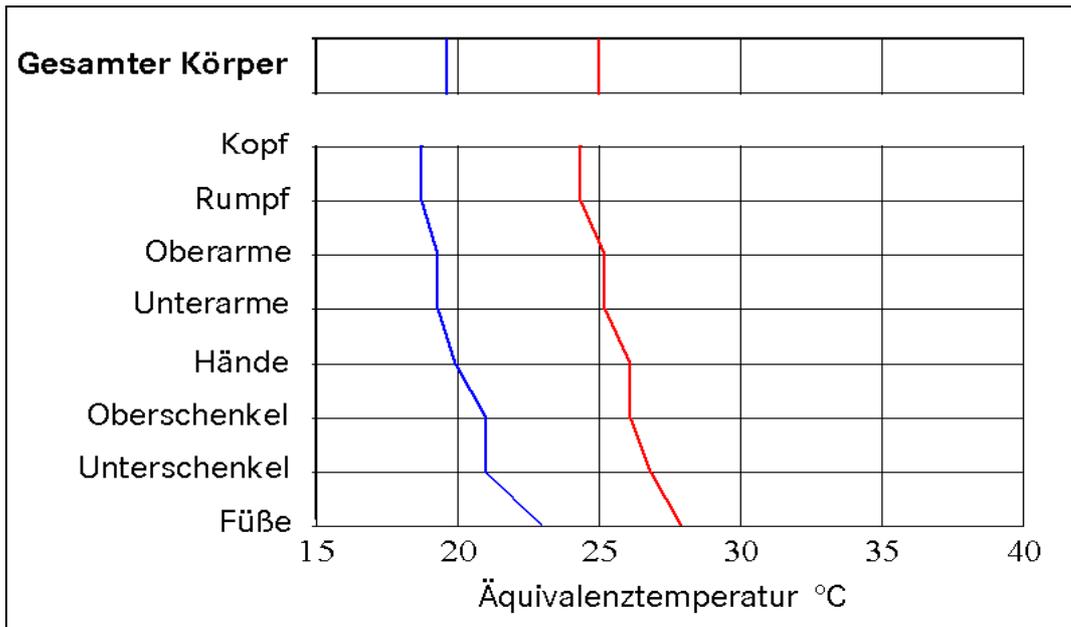


Bild 2.8 Komfortgrenzen der Äquivalenttemperatur (90 % Zufrieden); Winter, ruhig sitzend (EADS 1999)

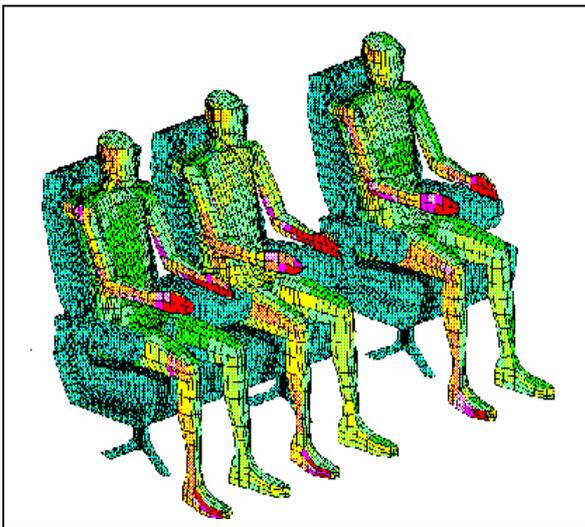


Bild 2.9 Wärmestrom-Verteilung an den Passagieren (Dechow 2000)

Neben der Äquivalenttemperatur bestehen folgende, allgemeine Einflußgrößen für ein lokal komfortables Innenraumklima: Luftfeuchte; Asymmetrische Strahlungsbelastung; Vertikale Temperaturschichtung; Bodentemperatur; Kontaktflächen und Zugluft.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Bewertung des Klimakomforts eine sehr komplexe Angelegenheit ist. Sie hat sehr viele Einflußfaktoren, die die Berechnungen sehr stark beeinflussen können. Eine andere Schwierigkeit ist, die richtigen Randbedingungen bei Messungen und Berechnungen vorzugeben.

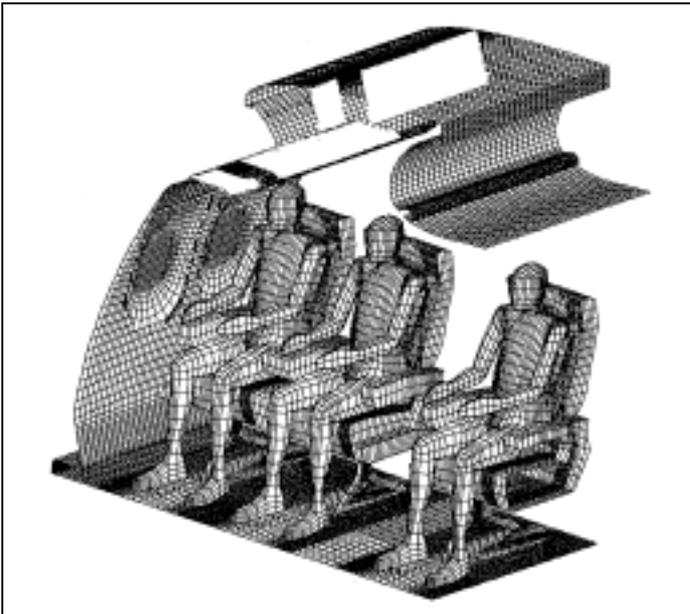


Bild 2.10 Simulationsmodell – individuelle Sitzplatzklimatisierung (Klimetzek 2000)

In **Bild 2.10** kann man die Oberflächen eines CFD-Gitters sehen, indem die Strömungsberechnung zur rechnerischen Bewertung des Klimakomforts am Sitz durchgeführt werden. Man kann durch eine Simulation im Rechner feststellen, welche Temperatur- und Strömungsfeld sich in der Kabine einstellt. Außerdem ist es möglich, den Passagier näher zu betrachten. Man kann an 14 verschiedenen Körperelementen die Temperaturen ermitteln. Aus dieser Rechnung kann dann eine Aussage bezüglich der thermischen Behaglichkeit des Passagiers gemacht werden. Ziel dieser Untersuchung ist den Passagier unter gegebenen Randbedingungen besser zu betrachten und zu bewerten.

Genauere Angaben zu den Bewertungsgrößen kann man aus den System-Requirements-Dokument (EADS 1999) entnehmen.

2.3 Individuelle Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen

Wie bereits gesagt wurde, ist das Ziel der gesamten Untersuchung zum einen die Verbesserung des thermischen Komforts des einzelnen Passagiers, zum anderen die Verbesserung der lufthygienischen Aspekte und des Kabinenlärms. Das System “individuelle Sitzplatzklimatisierung“ soll für den Megaliner oder das Flugzeug der nächsten Generation eingesetzt werden.

In den Passagierflugzeugen von heute gibt es außer den einstellbaren Luftduschen oberhalb der Sitze (Hatrack) keine anderen individuell steuerbaren Klimasysteme. Man hat bis heute noch keine große Gedanken über individuelle Klimasysteme für den Passagier am Sitz gemacht. Auf der anderen Seite hat man die Sitze mit Kommunikationssystemen und

Unterhaltungselektronik verfeinert. Verschiedene Variationen von LCD-Bildschirmen sind schon heute in Passagierflugzeugen im Einsatz (**Bild 2.11** u. **Bild 2.12**).



Bild 2.11 LCD-Bildschirm in der Armlehne (B/E Aerospace)



Bild 2.12 LCD-Bildschirme an der Rückenlehne (B/E Aerospace)

Man unterscheidet außerdem bei Passagierflugzeugen drei Arten von Sitzen. Der Economy-Class Sitz (**Bild 2.13**); der Business Class Sitz (**Bild 2.14**) und der First Class Sitz (**Bild 2.15**).



Bild 2.13 Economy Class Sitz (Recaro)



Bild 2.14 Business Class Sitz (Recaro)



Bild 2.15 First Class Sitz (Recaro)

In unserem Fall sollen in Zukunft die neuen Klimatisierungskonzepte in Business Class (B/C)- und First Class (F/C) Sitzen eingesetzt werden.

Heutzutage existieren in der Automobilindustrie aktive Klimatisierungssysteme, die vom Fahrer oder Beifahrer individuell gesteuert werden können. Aus den Erkenntnissen und Erfahrungen der Automobilindustrie möchte man natürlich auch Nutzen für den Flugzeugbau ziehen. Auch bei den Einzelmaßnahmen, die in dieser Arbeit vorgestellt und bewertet werden, wurden Erfahrungen aus der Automobilindustrie entnommen.



Bild 2.16 Klimatisierter Fahrzeugsitz (Papst)



Bild 2.17 Querschnittzeichnung eines klimatisierten Fahrzeugsitzes (W.E.T.2000b)

Die individuelle Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen soll die Erhöhung des Klimakomforts von einer derzeitigen Zufriedenheitsrate von günstigstenfalls 80% auf mehr als 90% erhöhen. Es soll dem Passagier in den ungünstigsten Momenten, eine behagliche Situation verschaffen. Das soll erreicht werden durch Klimatisierung direkt am Sitz oder am Flugzeug mittels integrierter, individuell einstellbarer Luftauslässe, Strahlungsflächen, usw..

Die nachfolgenden Kapitel stellen den Hauptteil dieser Diplomarbeit dar.

3 Bewertungungsverfahren zur Konzeptauswahl

3.1 Grundsätzliches

Heutzutage steht jeder Ingenieur bei der Entwicklung eines Produkts irgendwann vor der Frage, für welches Konzept bzw. Alternative er sich bei der Lösung einer Aufgabe entscheiden soll. Um sich für die eine oder andere Alternative zu entscheiden ist meistens die Aufgabe von vielen Kriterien und Einflußfaktoren abhängig, so daß es sehr komplex wird. Deshalb sind für verschiedene Anwendungsbereiche verschiedene Bewertungs- und Entscheidungsmethoden entwickelt worden. Um die Menge der untersuchten Bewertungsverfahren zu reduzieren, konzentrieren wir uns auf Verfahren, die eine system- und einbautechnische Untersuchung erlauben. Im ersten Schritt dieser Arbeit werden existierende Verfahren zur Bewertung von technischen Systemen in der Literatur untersucht, um einerseits zu prüfen, ob diese Verfahren die notwendigen Anforderungen an technische Bewertungsverfahren erfüllen und um andererseits daraus nützliche Teilaspekte einzelner Verfahren herauszufiltern. Das Ergebnis dieser Untersuchung soll uns dann ein brauchbares Bewertungsverfahren vorschlagen, womit die Vorauswahl der Einzelmaßnahmen durchgeführt werden kann.

Unser Anwendungsbereich liegt in der Bewertung eines technischen Systems. Außerdem kann man in unserem Fall von einer technischen Bewertung eines Mensch-Maschine-Systems gesprochen werden. "Was ist ein Mensch-Maschine-System?“. Nach **Johannsen 1993** (Kapitel 1, Seite 1) ist die Definition wie folgt: "Ein Mensch-Maschine-System ist durch das Zusammenwirken eines oder mehrerer Menschen mit einem technischen System gekennzeichnet. Es ist dabei üblich, mit dem Begriff Maschine allgemein technische Systeme aller Art zu bezeichnen. Die entsprechenden technischen Systeme sind Fahrzeuge aller Art (z.B. Kraftfahrzeug, **Flugzeug** [Herv. d. Verf.], Schiff), Verkehrskontroll- und Kommunikationssysteme, energie-, verfahrens- und fertigungstechnische Anlagen, Roboter, Bürosysteme, medizinische Apparate, Prothesen, Rechenanlagen und einige mehr.“ (**Johannsen 1993**, S. 1). Es handelt sich also bei uns um ein Passagier-Flugzeug-System.

Außerdem ist es wichtig zu erwähnen, daß speziell für dieses Thema ein Zentrum gegründet wurde. Daß zeigt, welche bedeutende Rolle diesem Thema beigemessen wird. Das Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (**ZMMS**) an der Technischen Universität Berlin arbeitet seit 1993 als Partner für Systemanalyse und Systembewertung, für Produktentwicklung, Wissenstransfer und Sicherheitsmanagement mit unterschiedlichen Wirtschafts- und Industriebereichen sowie Wissenschaftseinrichtungen zusammen. Die Arbeiten der Technischen Universität Berlin auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Systeme werden im ZMMS in Form der Kooperation von Ingenieuren und Humanwissenschaftlern gebündelt, um komplexe Probleme der Mensch-Maschine-Interaktion interdisziplinär zu lösen. Einige der fachlichen Schwerpunkte des ZMMS, die uns interessieren sind folgende:

- Hilfesysteme und Entscheidungsunterstützung
- die Generierung von Zielen und Optionen
- die Bewertung von Alternativen und Konsequenzen
- die Wahl zwischen Optionen usw. können durch rechnerunterstützte Hilfesysteme wie Assistenz- oder Diagnosesysteme stark gefördert werden.

Bevor wir zu den Bewertungsverfahren übergehen, würde es notwendig sein, den Begriff "Bewertung" in kurzen Worten zu erklären. Was ist eine Bewertung? "Eine *Bewertung* soll den "Wert" bzw. den "Nutzen" oder die "Stärke" einer Lösung in bezug auf eine vorher aufgestellte Zielvorstellung ermitteln. Letztere ist unbedingt notwendig, da der Wert einer Lösung nicht absolut, sondern immer nur für bestimmte Anforderungen gesehen werden kann." (**Pahl 1997**). Nach **Erkrath 1984** wird *Bewertung* so definiert: " "Bewertung" bedeutet im allgemeinen Sprachgebrauch die Festlegung eines Wertes für eine Person, einen Gegenstand, eine Eigenschaft oder einen Sachverhalt." (**Erkrath 1984**, S. 40).

Die *Bewertung* beinhaltet in unserem Fall den Vergleich der zu bewertenden Einzelmaßnahmen (Lösungsvarianten) untereinander mit einem Bewertungsmaßstab zu einer Wertigkeit als Grad der Annäherung an das Ideal.

Um eine *Bewertung* zuzulassen, werden Methoden bzw. Verfahren zur Realisierung notwendig. Zur Untersuchung der existierenden Bewertungsverfahren wurden Informationen aus mehreren Büchern, aus Berichten mit verschiedenen Quellen und aus dem größten Recherchewerkzeug, dem Internet, entnommen. Außerdem werden neben Bewertungsverfahren auch Bewertungsabläufe bzw. Bewertungsmodelle vorgestellt. Folglich wird am Ende der Untersuchungen ein für unser Ziel nützliches Bewertungsmodell und ein Bewertungsverfahren ausgewählt (s. **Abschnitt 4** und **Abschnitt 7**).

3.2 Bewertungsverfahren

3.2.1 Untersuchung der Bewertungsverfahren nach Erkrath 1984

Der Verfasser des Buches **Erkrath 1984** hat im Verlauf seiner Arbeit existierende Verfahren zur Bewertung technischer Systeme untersucht. Es wurden sämtliche Verfahren unter den neuen Anforderungen des Verfassers untersucht. Diese wären wie folgt

- Die Technisch-wirtschaftliche Bewertung nach Kesselring,
- die Nutzwertanalyse nach Zangemeister,
- Verfahren zur Funktions- und Bauteilbewertung,
- Verfahren zur Bewertung der Fertigung,
- Verfahren zur Bewertung der Montage,
- Verfahren zur Bewertung der Instandhaltung,
- die ergonomische Bewertung nach Schmitdke,
- Bewertungsverfahren zur Personenwahl,
- die Bewertung menschlicher Faktoren,
- die qualimetrische Bewertung,
- die Bewertung mit Hilfe von Niveauekennzahlen,
- die Faktorenbewertung,
- die Bewertung organisatorischer Zustände,
- die Bewertung mit Hilfe eines "Sicherheitsgrades",
- die Bewertung mit Hilfe von System- und Unfallanalysen,
- die Bewertung mit Hilfe von Checklisten,
- die Bewertung mit Hilfe einer "Schutzgüte",
- die Bewertung mit Hilfe eines "Sicherheitstechnischen Erfüllungsgrades",
- die Risikomethode,
- die Fehlermethode.

Man sieht in diesem Fall, daß eine Reihe von Möglichkeiten da sind, Bewertungen durchzuführen. Doch diese Verfahren wurden für unterschiedliche Zielsetzungen entwickelt. "Zur technischen Gesamtbewertung, zur Bewertung einzelner technischer Aspekte, zur ausschließlichen Bewertung humaner Aspekte und zur Bewertung sicherheitstechnischer Aspekte" (**Erkrath 1984**).

Für die Realisierung einer neuen sicherheitstechnischen Bewertungsverfahren sind in diesem Werk neu entwickelte Anforderungen an die Bewertungsverfahren gestellt worden. Diese untersuchten Verfahren werden in einer Methodenmatrix (**Bild A.1**) dargestellt und beurteilt. Nach der Beurteilung wird durch den Verfasser festgestellt, daß keines der untersuchten Verfahren die vom Verfasser entwickelten, sicherheitstechnischen Anforderungen vollständig

erfüllen. Definitionen der sicherheitstechnischen Anforderungen können im **Anhang A.1.1** nachgelesen werden.

Nach dem Ergebnis von **Erkrath 1984** hat es zur Folge, daß keines der untersuchten Verfahren die angesetzten Anforderungen ganz, teilweise bzw. überhaupt nicht erfüllen, deshalb wurde durch den Verfasser ein neues Verfahren aufgestellt, das die Erfüllung dieser Anforderungen anstrebt. Die anschauliche Darstellung des Ablaufes der sicherheitstechnischen Bewertung ist in **Bild 3.1** zu sehen. Die Arbeitsschritte dieses Verfahrens werden nun vorgestellt:

Arbeitsschritt 1:

Darstellung und Beschreibung des Bewertungsobjektes

Unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte erfolgt die Darstellung und Beschreibung des Bewertungsobjektes:

- Das System und seine Schnittstellen zur Umwelt werden beschrieben,
- die Funktion des Systems wird beschrieben,
- die Umgebungsbedingungen werden dargestellt,
- das Gesamtsystem wird in Teil- und Untersysteme sowie Systemkomponenten zerlegt,
- die Schnittstellen werden definiert,
- die Teil- und Untersysteme sowie die Systemkomponenten mit ihren Verknüpfungen werden beschrieben.

Arbeitsschritt 2:

Definition und Beschreibung der Sicherheitsforderungen

Folgende Punkte sind unter diesem Arbeitsschritt zu verstehen:

- Definition des Begriffes "Sicherheitstechnische Bewertung" und Definition der Sicherheit im speziellen Fall,
- Objektbezogene Definition und Zusammenstellung der sicherheitstechnischen Eigenschaften, Zustände, Abläufe und Sachverhalte, die das zu bewertende System enthalten muß,
- Definition der Eigenschaften, Zustände, Abläufe und Sachverhalte, die nicht auftreten dürfen,
- Definition des Zielsystems Sicherheit,
- Definition und Strukturierung der Unterziele des Zielsystems Sicherheit,
- Darstellung der Einflüsse im Zielsystem Sicherheit.

*Arbeitsschritt 3:***Erarbeitung der sicherheitstechnischen Bewertungskriterien**

Dieser Arbeitsschritt beinhaltet die folgenden Schritte:

- Erstellung der Sicherheitstechnischen Suchmatrix,
- Ermittlung und Analyse der einzelnen Gefahren und Fehlermöglichkeiten,
- Auswahl der relevanten Bewertungskriterien (Gefahren, Fehlermöglichkeiten),
- Strukturierung und Verknüpfung der Gefahren und möglichen Fehler,
- Erstellung des Strukturbaumes für die Gefahren und möglichen Fehler.

*Arbeitsschritt 4:***Überprüfung der sicherheitstechnischen Bewertungskriterien auf Erfüllung der logischen Bedingungen**

Durch folgende Punkte erfolgt die Überprüfung der sicherheitstechnischen Bewertungskriterien auf

- Vollständigkeit,
- Widerspruchsfreiheit,
- Unabhängigkeit,
- Verträglichkeit.

*Arbeitsschritt 5:***Skalierung - Sicherheitstechnische Kennmatrix**

Dieser Arbeitsschritt enthält,

- die Auswahl der Methode,
- die Skalierung entweder nach der Gefahren Eintrittswahrscheinlichkeit oder dem Gefahrenpotential,
- die Zusammenfassung und Verknüpfung der einzelnen Gefahren mit den dazugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeiten,
- die Darstellung des Bewertungsergebnisses durch die Sicherheitstechnische Kennmatrix.

*Arbeitsschritt 6:***Prüfung des Bewertungsergebnisses auf Akzeptanz**

Folgende Punkte beschreiben diesen Arbeitsschritt:

- Vergleichskennwerte,
- Vergleich mit akzeptierten Kennwerten.

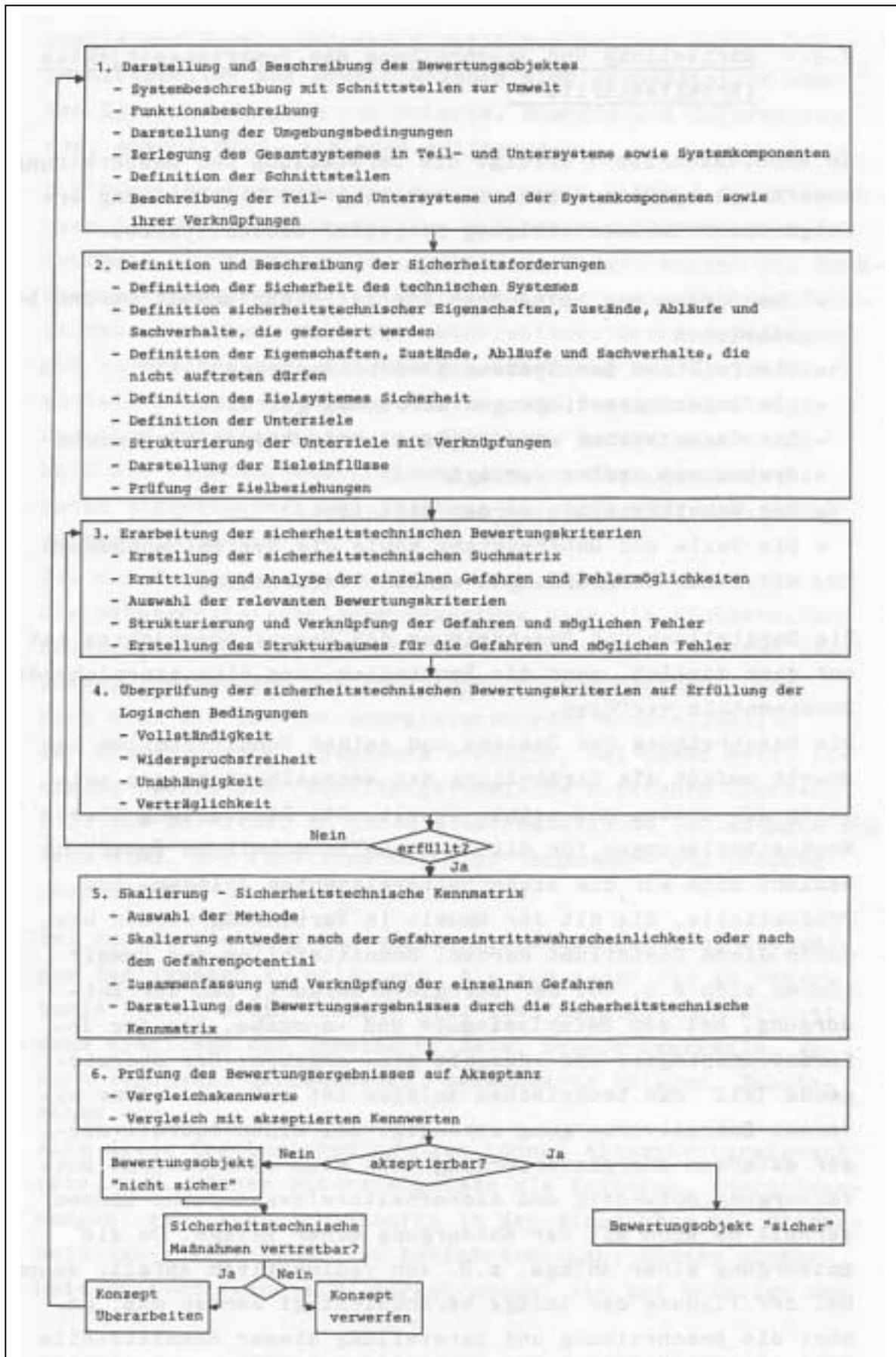


Bild 3.1 Ablauf der Sicherheitstechnischen Bewertung (Erkrath 1984)

Es ist zum Schluß noch zu erwähnen, daß die Bewertungsmethode "Nutzwertanalyse", die im Teilaspekt "Bewertung technischer Aspekte" untersucht worden ist, nach **Erkrath 1984** sich als Strukturierungshilfe für den Bewertungsablauf eignet, weil der Ablauf der Nutzwertanalyse sich in der Praxis in verschiedenen Bereichen der Technik bewährt hat. Deshalb enthalten die Arbeitsschritte 1 und 2 des von **Erkrath 1984** aufgestellten Bewertungsablaufes, Teilaspekte der Nutzwertanalyse.

3.2.2 Das Grundmodell der Entscheidungstheorie und das Phasenmodell nach Schmid 1999 (Poschmann 1999)

Während der Untersuchungen im Internet wurde auf folgende Quelle gestoßen. Auf der Seite des **ZMMS** (Zentrum Mensch-Maschine-Systeme) wurde im ZMMS Spektrum Band 10 ein Buch vorgestellt. Der Autor des Buches **Schmid 1999** mit dem Titel "HEURISK: Ein Entscheidungshilfverfahren für das Risikomanagement in der Luft- und Raumfahrt", stellt ein Entscheidungshilfverfahren vor, welche den Entscheider in der Luft- und Raumfahrt bei der Aufgabe unterstützt, im Bereich der Systementwicklung alternative Systementwürfe und Handlungsstrategien unter besonderer Berücksichtigung der mit ihnen verbundenen Risiken zu bewerten und auszuwählen. Die Entwicklung eines solchen Entscheidungshilfverfahrens nach **Schmid 1999** berührt mehrere Fachdisziplinen: Neben der Luft- und Raumfahrt gehören hierzu die eng mit den Wirtschaftswissenschaften verbundene präskriptive Entscheidungstheorie, die Systemtechnik sowie Teilgebiete der Psychologie, die sich mit Fragen der Risikowahrnehmung und Entscheidungsfindung beschäftigen. Das zum Schluß dieses Kapitel erörterte Phasenmodell lehnt sich an den Entwurf von **Schmid 1999** und wird aus dem Forschungsbericht von **Poschmann 1999** übernommen.

Poschmann 1999 ist ein Forschungsbericht, der die Grundbegriffe der präskriptiven Entscheidungstheorie behandelt. Bevor ich zur dieser Theorie übergehe, sei darauf hinzuweisen, daß am ZMMS der TU Berlin ein Lernprogramm zur Einführung in die präskriptive Entscheidungstheorie entwickelt wurde, das unter der Adresse **ZMMS** eingesehen werden kann.

Man unterscheidet innerhalb der Entscheidungstheorie zwischen einer

- präskriptiven Entscheidungstheorie und
- einer deskriptiven Entscheidungstheorie.

Man kann zusammenfassend festhalten, daß sich die präskriptive und deskriptive Entscheidungstheorie grundsätzlich dadurch unterscheiden: Auf der einen Seite versucht die deskriptive Entscheidungstheorie, aus einer verhaltenswissenschaftlichen, psychologischen Perspektive kommend, die Entscheidungen zu erklären und vorherzusagen und auf der anderen Seite versucht die präskriptive Theorie bei der Gestaltung von Entscheidungsprozessen zu unterstützen.

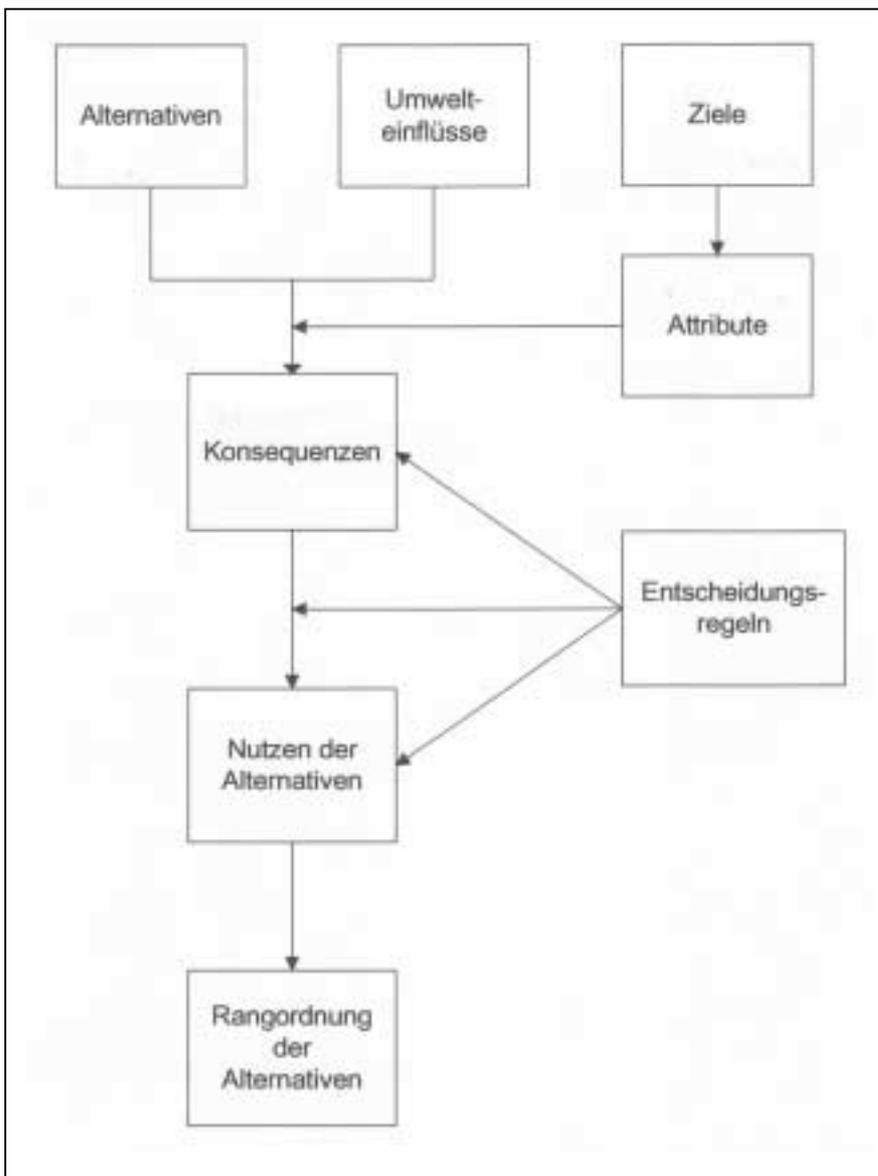


Bild 3.2 Grundmodell der präskriptiven Entscheidungstheorie (Poschmann 1999)

Die wesentlichen sechs Elemente dieser Theorie sind die

- Alternativen,
- Ziele,
- Attribute,
- Umwelteinflüsse,
- Konsequenzen und
- Entscheidungsregeln.

Die Elemente dieses Grundmodells werden nun erläutert:

Alternativen

“Die Alternativen stellen Objekte oder Handlungen dar, zwischen denen die Entscheidungsträger eine Auswahl zu treffen haben.“ (**Poschmann 1999**). Die Alternativen können bereits vorgegeben sein oder von Ingenieuren bzw. von Entscheidungsträgern erst gesucht und entwickelt werden. In unserem Fall sind die Alternativen die Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen. Es müssen mindestens zwei Alternativen vorhanden sein, damit eine Auswahl getroffen werden kann. In unserem Fall sind es 20 Alternativen bzw. Einzelmaßnahmen.

Ziele

Es werden Alternativen bzw. Einzelmaßnahmen ausgewählt, um bestimmte Ziele zu erreichen. Nach Zangemeister 1976 ist die Definition des Zieles wie folgt: “Ziele sind notwendige Prämissen eines Entscheidungsmodells in Form von Aussagen imperativischen Charakters, aus denen sich die für die Bewertung von Alternativen relevanten Zielkriterien ergeben.“ (**Zangemeister 1976**, S. 92). Bei unserem Problem ist das Ziel, durch verschiedene Einzelmaßnahmen die Verbesserung des thermischen Komforts des einzelnen Passagiers im Flugzeug zu erreichen.

Attribute

Was sind Attribute? In den verschiedensten Literaturen, werden Attribute wie folgt genannt. Merkmale, Bewertungs-, Ziel- oder Entscheidungskriterien. In unserem Fall sprechen wir von Bewertungskriterien und dem Kriterienkatalog, der aus diesen besteht. Per Definition nach Zangemeister 1976 sind Attribute (Zielkriterien): “Die Gesamtheit der Zielkriterien, die der Bewertung zugrunde gelegt werden, umfaßt die Menge aller derjenigen Ziele, die Endpunkte von Zielketten oder Zielhierarchie sind.“ (**Zangemeister 1976**, S. 92). Anhand der Attribute (Bewertungskriterien) erfolgt die konkrete Bewertung der Alternativen (Einzelmaßnahmen).

Umwelteinflüsse

Umwelteinflüsse (synonym: Umweltzustände, Zustände) werden in diesem Fall als Faktoren zusammengefaßt, die sich einer Beherrschung durch die Entscheidungsträger entziehen. Die Umwelteinflüsse wirken auf die Konsequenzen der Alternativen.

Konsequenzen

Konsequenzen sind Ergebnisse, Folgen, Zielerreichungsgrade oder Attributsausprägungen einer Alternative (Einzelmaßnahme). Es sind die Folgen, die sich aus der Wahl der Alternativen ergeben. Man hat nach der Entscheidungstheorie zwei mögliche Fälle, um Entscheidungen zu betrachten. Erstens Entscheidungen unter Sicherheit und zweitens Entscheidungen unter Risiko.

Entscheidungen unter Sicherheit: Die eintretenden Umwelteinflüsse sind bekannt.

Entscheidungen unter Risiko: Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der zu erwartenden Umwelteinflüsse sind zu schätzen.

Entscheidungsregeln

Das letzte Element des Grundmodells bilden die Entscheidungsregeln. Nachdem man die Attribute (Bewertungskriterien) und die Alternativen (Einzelmaßnahmen) aufgestellt hat, muß man nach der Entscheidungstheorie vier verschiedene Aufgaben bzw. Phasen bearbeiten.

Diese wären

- die Erfassung der Konsequenzen,
- die Bewertung der Konsequenzen,
- die Gewichtung der Attribute und
- die Berechnung des Nutzens der Alternativen.

Nach **Poschmann 1999** werden folgende Entscheidungs- bzw. Bewertungsverfahren als wichtigste genannt:

- Das **Scoring-Verfahren** (bekannt im deutschen Sprachraum als **Nutzwertanalyse**)
- Die **multiattribute Nutzentheorie** (MAUT - multiattribute utility theory) für Entscheidungen unter Risiko
- Die **multiattribute Werttheorie** (MAVT - multiattribute value theory) für Entscheidungen unter Sicherheit

Im Forschungsbericht **Poschmann 1999** werden Anhand des Beispiels „Auswahl eines Netzwerkbetriebssystems“, die sechs Grundelemente der Entscheidungstheorie dargestellt. Außerdem werden die multiattribute Werttheorie (MAVT) und das Scoring-Verfahren (Nutzwertanalyse) bei der Bearbeitung des Phasenmodells näher gebracht.

Schließlich werden aus dem Phasenmodell von **Schmid 1999** die vier Phasen beschrieben. Auf eine genauere und detaillierte Betrachtung der Phasen wird in diesem Fall verzichtet.

Phasenmodell nach Schmid 1999

1. Erfassung der Konsequenzen

In der ersten Phase des Modells werden die Alternativen bezüglich der Attribute analysiert. Die Konsequenzen sind durch eine Skalierung zu erfassen. Sie können kontinuierlich oder diskret skaliert werden. Ein kontinuierlich skaliertes Beispiel wäre z.B. das Attribut „Kosten des Systems“ in DM. Falls keine kontinuierlichen Skalen verfügbar sind oder es schwierig ist Beurteilungen zu abzugeben, können Attribute auch diskret skaliert werden. Dazu kann man im **Anhang A.1.2** in der **Tabelle A.1** ein Beispiel sehen.

2. Bewertung der Konsequenzen

In diesem Schritt werden nun die skalierten Konsequenzen bewertet. Die Bewertung wird nach **Poschmann 1999** mit dem Scoring-Verfahren durch Vergabe von Punkten (scores) oder Schulnoten durchgeführt. Die Entscheidungsträger, damit sind z.B. die Entwicklungsingenieure gemeint, können die Konsequenzen direkt mit Punkten, die auf einer 10 bis 100-Punkte-Skala, oder Schulnoten, auf einer Skala von 1 bis 6, bewerten. Ein Beispiel ist in **Tabelle A.2** zu sehen.

Man kann die Konsequenzen auch mit der multiattributen Werttheorie (MAVT) bewerten. Hierbei erfolgt die Bewertung durch Wertfunktionen. "Für jedes Attribut i ist eine Wertfunktion v_i zu erheben. Formal ist die Wertfunktion v_i als Funktion definiert, die jeder Konsequenz x_i (über das Attribut i) eine reelle Zahl $v_i(x_i)$ zuweist." (**Poschmann 1999**, S. 9).

3. Gewichtung der Attribute

Als nächstes werden im Schritt 3 die Attribute, die sogenannten Bewertungskriterien, gewichtet. Innerhalb des Scoring-Verfahrens kann die Gewichtung der Attribute entweder durch Vergabe von Rängen oder durch Vergabe von Punkten erfolgen.

a) Verfahren der Ranggewichtung

Die einzelnen Attribute müssen in eine Rangreihe überführt werden. Das wichtigste Attribut bekommt den Rangplatz eins, das zweitwichtigste den Rangplatz zwei, usw.. Diese Ränge werden dann durch eine Transformation in normalisierte Gewichte übergeführt:

$$w_i = \frac{(n+1) - R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (1)$$

w_i : Gewichte der $i=1...n$ Attribute

R_i : Ränge der $i=1...n$ Attribute

b) Verfahren der Verhältnisschätzung (Direct-Ratio-Verfahren)

Zuerst werden bei diesem Verfahren die Attribute nach ihrer Wichtigkeit geordnet. "Dem unwichtigsten Attribut werden 10 Punkte zugeordnet. Jedes weitere Attribut wird dann mit einer Punktzahl bewertet, die angibt, um wieviel mal wichtiger dieses Attribut im Vergleich zum unwichtigsten Attribut ist." (**Poschmann 1999**, S. 11). Danach müssen, wie auch bei der Ranggewichtung, die verteilten Punkte in normalisierte Gewichte überführt werden:

$$w_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (2)$$

w_i : Gewichte der $i=1...n$ Attribute

p_i : Punkte der $i=1...n$ Attribute

Es existieren auch im Rahmen des MAVT zahlreiche Verfahren zur Gewichtung der Attribute (s. **Eisenführ 1993**, S. 118-127), von denen im folgenden nur die Trade-Off-Methode im Überblick dargestellt wird. In diesem Verfahren werden zwei Attribute betrachtet und die Entscheidungsträger müssen angeben, welche Verschlechterung sie in dem einen Attribut bereit sind zu akzeptieren, um im anderen Attribut eine Verbesserung zu erhalten. In **Bild A.2** im Anhang ist ein Beispiel abgebildet, die ein Trade-Off zwischen den Attributen Kosten und Benutzerfreundlichkeit der technischen Dokumentation zeigt.

4. Berechnung des Nutzens der Alternativen

Schließlich wird im letzten Punkt des Phasenmodells, worin auch die Grundidee der präskriptiven Entscheidungstheorie bestand, der Nutzen einer Alternative als Funktion der Teilnutzen, die die Alternative bezüglich der einzelnen Ziele stiftet, erfaßt.

Folglich wird der Gesamtnutzwert einer Alternative a aus der Summe der gewichteten Teilnutzwerte berechnet:

$$v(a) = \sum_{i=1}^n w_i v_i(a_i) \quad (3)$$

$v(a)$ Gesamtnutzwerte der Alternative a

w_i : Gewichte der $i=1...n$ Attribute

v_i : Wertfunktionen über die $i=1...n$ Attribute

$v_i(a_i)$: bewertete Konsequenzen der Alternative a über die $i=1...n$ Attribute (Teilnutzwerte)

Die Alternative mit dem größten Gesamtnutzwert wird dann als die beste Lösung angenommen.

3.2.3 Nutzwertanalyse und VDI - Richtlinie 2225

Bevor wir zur genaueren Beschreibung der Bewertungsverfahren "Nutzwertanalyse und VDI - Richtlinie 2225" kommen, wird am Anfang dieses Kapitels ein Blick auf die Literatur, die dieses Thema behandelt, geworfen.

Das Buch "Konstruktionslehre" von **Pahl 1997** ist ein sehr bewährtes Lehr- und Handbuch für das Studium und für die Praxis. Es vermittelt sehr systematisch die Grundlagen der Konstruktionslehre und ihre Anwendungen. Die letzte, 4. Auflage des Buches wurde erfreulicherweise um neue Erkenntnisse erweiterter Methoden zur Produktionsplanung erweitert. Es gibt die meisten heutzutage benutzten Methoden wieder und ist sehr aktuell auf dem Gebiet der Bewertungstheorie. Die Bewertungsmethoden werden sehr verständlich und strukturiert erläutert. Der Text enthält sehr viele Beispiele und Lösungen.

Pahl 1997 stellt zwei der wichtigsten Bewertungsmethoden vor. Erstens die *Nutzwertanalyse* (NWA) in der Systemtechnik und zweitens die technisch-wirtschaftliche Bewertung nach der *Richtlinie VDI 2225*. Die erste stammt vom **Zangemeister 1976** und die zweite kann man im wesentlichen auf **Kesselring 1951** zurückführen.

Zangemeister 1976 ist sozusagen die "Bibel" der Nutzwertanalyse. Es ist sehr komplex geschrieben aber gibt einen sehr guten und ausführlichen Überblick über die Systemtechnik. Im Anhang des Buches sind Beispiele zur Nutzwertanalyse dargestellt. Während der Literaturrecherche konnte man feststellen, daß sehr viele Autoren auf dieses Buch zurückgegriffen haben. Obwohl die letzte Ausgabe dieses Buches sehr viele Jahre zurückliegt, ist der Inhalt nach wie vor aktuell.

Sehr anschaulich und verständlich ist die Beschreibung des einstufigen und des mehrstufigen Nutzwertanalyseverfahrens in **Kirsch 1978** (ein Technischer Bericht der früheren VFW-Fokker) beschrieben und Anhand von Beispielen erklärt worden.

Außerdem wurden noch andere verschiedene Quellen zum Thema "Nutzwertanalyse" herangezogen, z.B. **Eisenführ 1993**, **Schernikau 1999**, **Schmidt 2000**, **Scholles 1998**, **Spahni 2000** und **Warnecke 1996**.

Wie bereits gesagt wurde, behandelt das Buch **Pahl 1997** die zwei wichtigsten Bewertungsmethoden.

1. Nutzwertanalyse (NWA) der Systemtechnik
2. technisch-wirtschaftliche Bewertung nach der *Richtlinie VDI 2225*

In den nachfolgenden Seiten werden die Teilschritte der Bewertung sowie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Bewertungsmethoden beschrieben.

Teilschritte beim Bewerten und die Bewertungsmethoden “Nutzwertanalyse und VDI – Richtlinie 2225“(Pahl 1997)

1. Erkennen der Ziele bzw. Bewertungskriterien, die zur Beurteilung der Lösungsvarianten herangezogen werden müssen unter Verwenden der Anforderungsliste und einer Leitlinie

Voraussetzungen beim Aufstellen der Bewertungskriterien

- Die Bewertungskriterien sollen die entscheidungsrelevanten Anforderungen und allgemeinen Bedingungen möglichst vollständig erfassen, damit bei der Bewertung keine wesentlichen Gesichtspunkte unberücksichtigt bleiben.
- Die einzelnen Bewertungskriterien müssen weitgehend unabhängig voneinander sein, d.h., Maßnahmen zur Erhöhung des Wertes einer Variante hinsichtlich eines Kriteriums dürfen die Werte hinsichtlich der anderen Kriterien nicht beeinflussen.
- Die Eigenschaften des zu bewertenden Systems, hier die Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung, in bezug auf die Kriterien sollten bei vertretbarem Aufwand der Informationsbeschaffung möglichst quantitativ, zumindest aber qualitativ (wörtlich) erfassbar sein.

Nutzwertanalyse

Aufstellen eines hinsichtlich Abhängigkeiten und Komplexitäten abgestuften Zielsystems (Zielhierarchie) auf der Grund der Anforderungsliste und weiterer allgemeiner Bedingungen.

VDI - Richtlinie 2225

Zusammenstellen aller wichtiger technischen Eigenschaften sowie Wünsche und Mindestanforderungen der Anforderungsliste.

2. Untersuchen der Bewertungskriterien hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Gesamtwert der Lösungen. Gegebenenfalls festlegen von Gewichtungsfaktoren

Nutzwertanalyse

Stufenweises Gewichten der Zielkriterien (Bewertungskriterien) und gegebenenfalls ausscheiden unbedeutender Kriterien (s. **Bild 3.3**)

- Gewichtungsfaktoren zwischen 0 und 1 (oder 0 – 100)
- Summe der Faktoren = 1 (od. 100)

Die Quersumme der Gewichtungsfaktoren g_i je Zielstufe müssen stets:

$$\sum g_i = 1 \quad (4)$$

betragen.

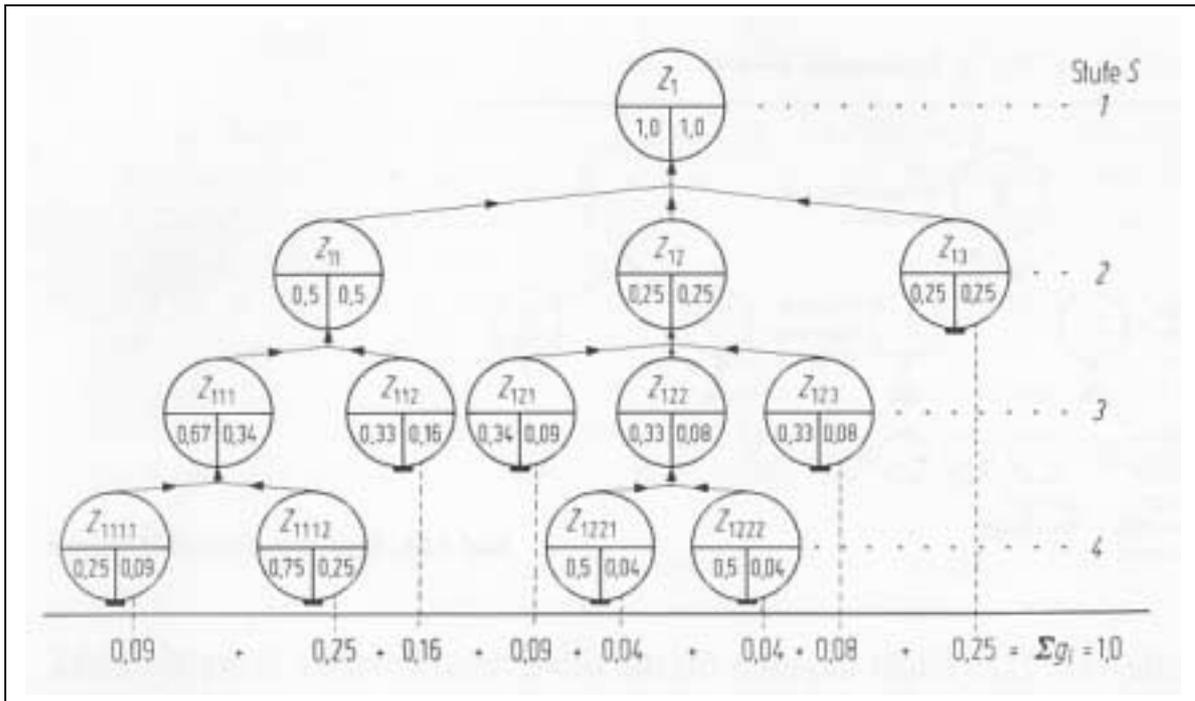


Bild 3.3 Stufenweise Bestimmung der Gewichtungsfaktoren von Zielen eines Zielsystems nach Zangemeister 1976 (Pahl 1997)

VDI - Richtlinie 2225

Festlegen von Gewichtungsfaktoren nur bei stark unterschiedlicher Bedeutung der Bewertungskriterien. Ansonsten keine Gewichtung.

3. Zusammenstellen der für die einzelnen Lösungsvarianten zutreffenden Eigenschaftsgrößen

Nutzwertanalyse

- Aufstellen einer Zielgrößenmatrix; Eigenschaftsgrößen = Zielgrößen
- Bewertungskriterien mit den Eigenschaftsgrößen in eine Bewertungsliste eintragen
- Eigenschaften:
 - + zahlenmäßige Kennwerte und
 - + verbale, konkrete Aussagen

VDI - Richtlinie 2225

Nicht generell vorgesehen. Nach Aufstellung der Bewertungskriterien wird eine Bewertung unmittelbar durchgeführt.

**4. Beurteilen der Eigenschaftsgrößen nach Wertvorstellungen (0 - 10 oder 0 - 4 Punkte) ;
Wertskala für Nutzwertanalyse und VDI 2225**

Nutzwertanalyse

Aufstellen einer Zielwertmatrix mit Hilfe einer Punktbewertung oder mit Wertfunktionen.

- 0 – 10 Punkte

VDI - Richtlinie 2225

Punktbewertung der Eigenschaften.

- 0 – 4 Punkte

Tabelle 3.1 Wertskala für Nutzwertanalyse und VDI – Richtlinie 2225

Wertskala			
Nutzwertanalyse		VDI - Richtlinie 2225	
Punkte	Bedeutung	Punkte	Bedeutung
0	absolut unbrauchbare Lösung	0	unbefriedigend
1	sehr mangelhafte Lösung		
2	schwache Lösung		
3	tragbare Lösung	1	gerade noch tragbar
4	ausreichende Lösung		
5	befriedigende Lösung	2	ausreichend
6	gute Lösung mit geringen Mängeln		
7	gute Lösung	3	gut
8	sehr gute Lösung		
9	über die Zielvorstellung hinausgehende Lösung		
10	Ideallösung	4	sehr gut (ideal)

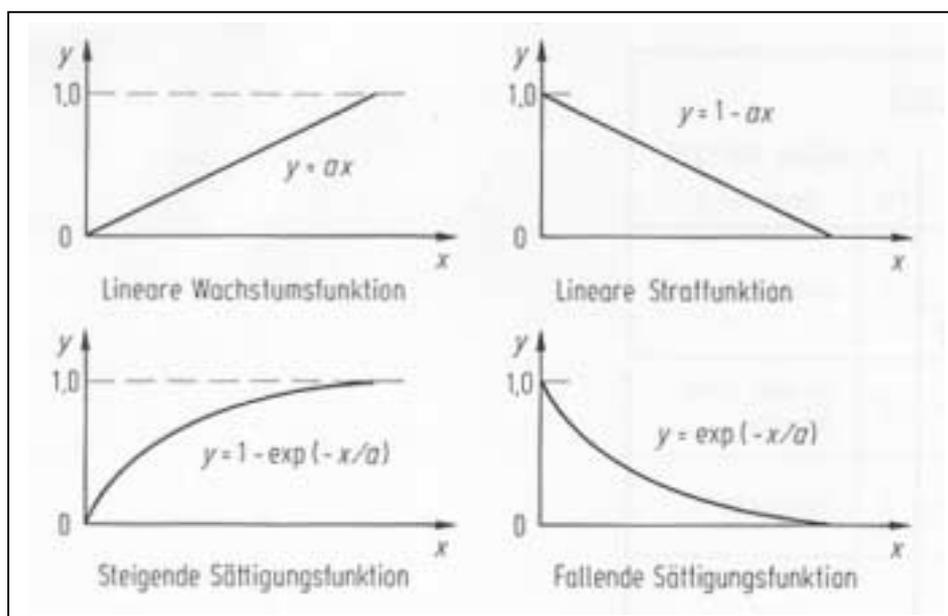


Bild 3.4 Gebräuchliche Wertfunktionen nach Zangemeister 1976 (Pahl 1997)

5. Bestimmen des Gesamtwerts der einzelnen Lösungsvarianten, in der Regel in Bezug auf eine Ideallösung (Wertigkeit)

Nutzwertanalyse

- Aufstellen einer Nutzwertmatrix mit Berücksichtigung von Gewichten
- Ermitteln von Gesamtnutzwerten durch Summenbildung

VDI - Richtlinie 2225

- Ermitteln einer Technischen Wertigkeit ohne oder mit Berücksichtigung von Gewichten in Bezug auf eine Ideallösung
- Gegebenenfalls ermitteln einer Wirtschaftlichen Wertigkeit aufgrund von Herstellkosten.

Der Gesamtwert Gw_j oder Gwg_j einer Variante j errechnet sich dann zu:

Ungewichtet:
$$Gw_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \quad (5)$$

Gewichtet:
$$Gwg_j = \sum_{i=1}^n g_i \cdot w_{ij} = \sum_{i=1}^n wg_{ij} \quad (6)$$

6. Vergleichen der Lösungsvarianten

Nutzwertanalyse

- Vergleichen der Gesamtnutzwerte

VDI - Richtlinie 2225

- Vergleichen der Technischen und Wirtschaftlichen Wertigkeiten
- Aufstellen eines s-(Stärke)-Diagramms

Feststellen des maximalen Gesamtwerts

- Bei diesem Verfahren wird diejenige Variante am besten beurteilt, die den maximalen Gesamtwert hat

$$Gw_j \rightarrow \text{Max.} \quad \text{bzw.} \quad Gwg_j \rightarrow \text{Max.}$$

- Relativer Vergleich der Varianten untereinander.

Ermitteln einer Wertigkeit

Um die absolute Wertigkeit W_j oder Wg_j einer Variante zu erhalten, ist der Gesamtwert auf einen gedachtem Idealwert zu beziehen.

Ungewichtet:
$$W_j = \frac{Gw_j}{w_{\max} \cdot n} = \frac{\sum_{i=1}^n w_{ij}}{w_{\max} \cdot n} \quad (7)$$

Gewichtet:
$$Wg_j = \frac{Gwg_j}{w_{\max} \cdot \sum_{i=1}^n g_i} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot w_{ij}}{w_{\max} \cdot \sum_{i=1}^n g_i} \quad (8)$$

Grobvergleich von Lösungsvarianten

- Alle Varianten werden paarweise hinsichtlich eines Bewertungskriteriums miteinander verglichen
- Die stärkere von beiden Varianten wird binär entschieden

		Variante						
		1	2	3	4	5	6	7
Im Vergleich zu Variante	1	-	1	0	1	0	1	0
	2	0	-	0	1	0	0	0
	3	1	1	-	1	0	1	0
	4	0	0	0	-	0	0	0
	5	1	1	1	1	-	1	1
	6	0	1	0	1	0	-	0
	7	1	1	1	1	0	1	-
Summe		3	5	2	6	0	4	1
Rang		4	2	5	1	7	3	6
		1 = besser 0 = nicht besser						

Bild 3.5 Dominanzmatrix – Binäre Bewertung von Lösungsvarianten (Pahl 1997)

7. Abschätzen von Beurteilungsunsicherheiten

Nutzwertanalyse

- Abschätzen von Zielgrößenstreuungen und Nutzwertverteilungen

VDI - Richtlinie 2225

- Nicht explizit vorgesehen

Personenbedingte Fehler

- Abweichen des Beurteilers vom neutralen Standpunkt
- Vergleich von Varianten nach gleichen Bewertungskriterien, die nicht für alle Varianten passen
- Varianten werden für sich und nicht entsprechend den aufgestellten Bewertungskriterien nacheinander beurteilt
- Starke Abhängigkeit der Bewertungskriterien untereinander
- Wahl ungeeigneter Wertfunktionen
- Unvollständigkeit der Bewertungskriterien

Verfahrensbedingte Fehler

- Prognoseungewißheit

8. Suchen nach Schwachstellen zur Verbesserung ausgewählter Varianten

Nutzwertanalyse

- Aufstellen von Nutzwertprofilen

VDI - Richtlinie 2225

- Feststellen der Eigenschaften mit geringer Punktzahl

Beide Verfahren wurden nun vorgestellt. Die Schritte der Nutzwertanalyse von **Zangemeister 1976** sind eindeutiger und differenzierter aufgebaut als die VDI –Richtlinie 2225. Folglich ist der Arbeitsaufwand der Nutzwertanalyse höher als beim Vorgehen nach der Richtlinie 2225. Die VDI – Richtlinie 2225 eignet sich besser, wenn weniger und annähernd gleiche Bewertungskriterien vorhanden sind.

3.2.4 Interaktive Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß

Aus der Praxis hat man die Erfahrung gemacht, wie schwer die eine oder andere Realisierung der Bewertungsverfahren und der Entscheidungsprozesse ist, je mehr Kriterien und Einflußfaktoren eine Rolle spielen. Die Verfahren werden zu einem äußerst komplexen Problem. Vor allem, wenn man Verfahren wie die Nutzwertanalyse verwenden muß. Man stößt in solchen Fällen sehr schnell an die Grenzen der Handhabbarkeit. Deshalb wurden, durch Beeinflussung der raschen Entwicklung der Computertechnik, neue und hilfreiche Computerprogramme entwickelt.

Dieser Teil der Arbeit soll dem Leser ein Überblick über die verschiedenen Quellen, welche die existierenden Computerprogramme zu diesem Thema beschreiben, näherbringen.

Der Laborbericht **Fournier 1998** aus dem Institut für Psychologie und Institut für Arbeitswissenschaften an der Technischen Universität Berlin hat eine Untersuchung unter Coputerprogrammen zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß durchgeführt. Während der Untersuchung ist der Autor des Berichtes im Internet fündig geworden. **Fournier 1998** beschreibt insgesamt 6 verschiedene englischsprachige Programme, die in den USA entwickelt worden sind. In diesem Bericht wurden nur die Programme betrachtet, die zur Analyse von einstufigen Entscheidungsverfahren geeignet waren, weil diese Art der Verfahren in der Ingenieurspraxis am häufigsten vorkommt. Es ist wichtig hier zu erwähnen, daß auch mehrere Programme für die mehrstufige Entscheidungsverfahren existieren. Die in **Fournier 1998** vorgestellten Programme sind in tabellarischer Form im **Anhang A.1.3, Tabelle A.3** aufgeführt.

Damke 1995 beschreibt hingegen ein deutschsprachiges Programm Namens "WinGHOST" (Goal Hierarchy and Objectives Structuring Technique). Es ist ein interaktives Programm, das die Diagnose, Bearbeitung und Lösung von Entscheidungsproblemen unterstützt und dient in komplexen Situationen zur Beschreibung, Strukturierung und Gewichtung von Zielen sowie zur Bewertung alternativer Handlungsoptionen nach diesen Zielen. Nach **Damke 1995** kann man verschiedene Typen sogenannter Entscheidungs-Unterstützungs-Systeme unterscheiden. Experten-Systeme, Management-Informationen-Systeme und Entscheidungs-Hilfe-Systeme (EHS). Zu der letzt genannten Gruppe gehört auch das Programm WinGHOST. Typische Anwendungsbeispiele für das Programm kann man im **Anhang A.1.3** nachlesen.

Weiterhin sind noch Programme zum Verfahren der Nutzwertanalyse vorhanden. Eines dieser Programme, die während der Recherchen im Internet gefunden worden sind, hat den Namen "Nutzwertanalyse Version: 2.05". Man kann mit diesem Programm ein Vergleich bzw. eine Bewertung von Alternativen mit bis zu 68 Merkmalen (Bewertungskriterien) durchführen. Detaillierte Beschreibungen zu diesem Produkt bekommt man aus dem **SoftGuide** Softwareführer die auch als Quelle zu dieser Informationen herangezogen war.

3.3 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt der Arbeit wurde versucht, eine Analyse der für uns interessanten Bewertungsverfahren durchzuführen. Nachdem die

- Untersuchung der Bewertungsverfahren nach **Erkrath 1984**,
- das Grundmodell der Entscheidungstheorie und das Phasenmodell nach **Schmid 1999 (Poschmann 1999)**,
- und die Nutzwertanalyse und VDI - Richtlinie 2225

durchgeführt worden ist, wurden zum Schluß noch einige Interaktive Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß betrachtet. In unserem Fall, haben wir kein fertiges Werkzeug, sondern das Programm "MS Excel 7.0" benutzt.

Schließlich wird aus den ganzen Erkenntnissen der Informationsquellen, Beschreibungen und Bücher, ein in **Kapitel 4.2** vorgestelltes Grundmodell aufgestellt, die unser Ziel "Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen" systematisiert. Genauer zur ausgewählten Bewertungsmethode "Nutzwertanalyse" kann in **Abschnitt 7** nachgelesen werden. Die spätere Vorgehensweise der Aufgabe erfolgt nach diesem aufgestellten Modell, den sogenannten "Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen".

4 Bewertungsmodell

4.1 Die Methodik der Systemtechnik

Nach der Theorie von **Zangemeister 1976** und **Pahl 1997**, wird die Methodik der Systemtechnik in diesem Kapitel vorgestellt. Welche Bedeutung und Ziel hat die Systemtechnik? “Die Systemtechnik als interdisziplinäre Wissenschaft will Methoden, Verfahren und Hilfsmittel zur Analyse, Planung, Auswahl und optimalen Gestaltung komplexer Systeme bereitstellen.“ (**Pahl 1997**, S. 24).

Bild 4.1 zeigt die Vorgehensschritte der Systemtechnik.

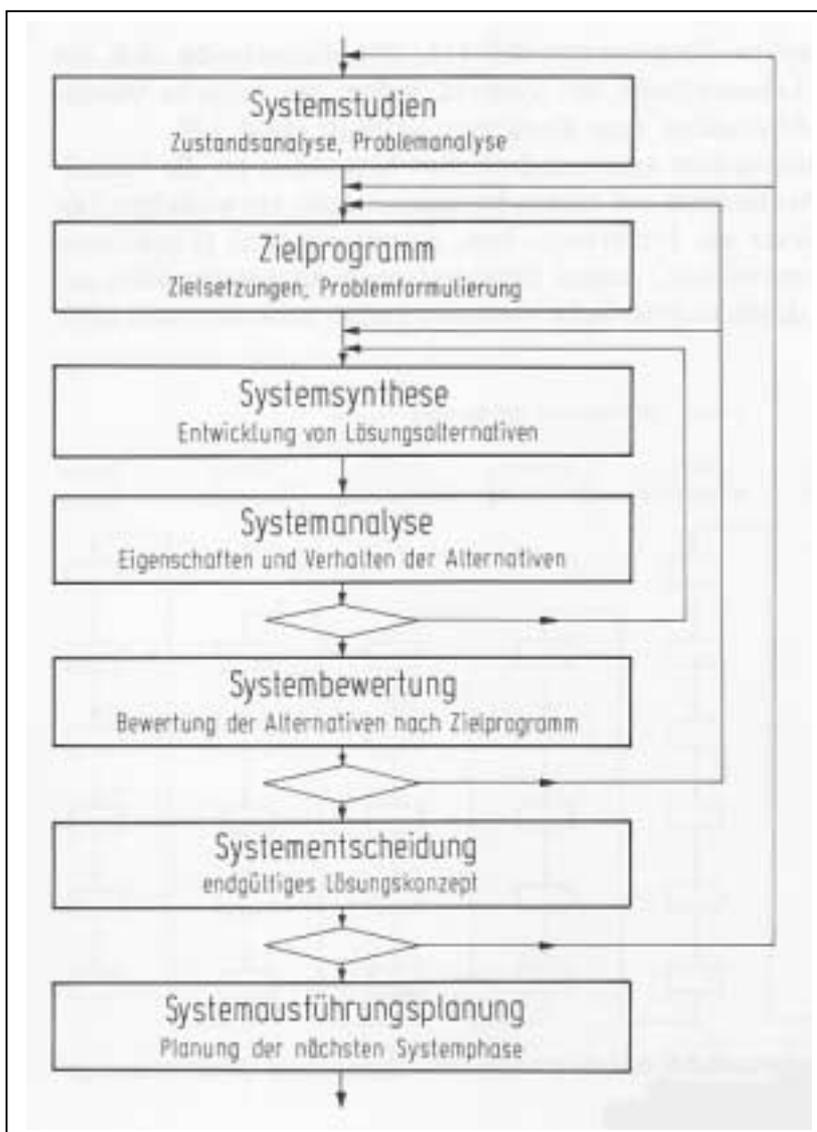


Bild 4.1 Vorgehensschritte der Systemtechnik (**Pahl 1997**)

Die Vorgehensschritte der Systemtechnik werden nun einzeln beschrieben.

1. Systemstudien (Zustandsanalyse)

Die 1.Stufe der Methodik bildet den Ausgangspunkt dieser systematischen Gesamtplanung. Man sammelt systematisch Informationen über das geplante System. Man kann diese durch Marktanalysen, Trendstudien etc. erreichen. Die Ergebnisse der Systemstudien bilden die Informationsbasis zur Definition der Programmziele. Ziel solcher Systemstudien ist eine klare Formulierung der zu lösenden Probleme bzw. Aufgaben.

2. Zielprogramm

Hier wird in einem zweiten Schritt ein Zielprogramm aufgestellt , das die Zielsetzung für das zu entwerfende System formal festgelegt (Problemformulierung).

3. Systemsynthese

Auf dieser 3.Stufe werden Lösungsalternativen entwickelt, die auf der Grundlage der in den ersten beiden Schritten gewonnenen Informationen aufbauen.

4. Systemanalyse

Zur Auswahl eines optimalen Systems werden nun die gefundenen Lösungsvarianten mit dem eingangs aufgestellten Zielprogramm verglichen. Hierbei überprüft man, welche Lösung die Anforderungen der Aufgabenstellung am besten erfüllt. Man untersucht die Eigenschaften der Lösungsvarianten für die anschließende Systembewertung.

5. Systembewertung

Die Systembewertung ermöglicht das Herausfinden der Optimallösung. Die Ergebnisse der Systemanalyse werden mit den alternativen in Hinblick auf die relevanten Ziele und die Präferenzen des Entscheidungsträgers miteinander verglichen. Man kann eine Aussage über den relativen Gesamtwert (Nutzwert) der Alternativen erhalten. Die hier speziell angewandte Bewertungsmethode wird Nutzwertanalyse genannt.

6. Systementscheidung

Auf dieser Stufe wird die Auswahlentscheidung aufgrund der Ergebnisse der Nutzwertanalyse und der bis dahin nicht berücksichtigter Entscheidungskriterien getroffen.

7. Systemausführungsplanung

Entwicklungsplanung: Planungsaufgaben im Zusammenhang mit der materiellen Entwicklung von Systemkomponenten einschließlich eventuell notwendiger Prototypen und deren Testfolgen.

Ausführungsplanung: Planung aller Maßnahmen die zur Realisierung der ausgewählten Projektalternativen notwendig sind.

Außer den aufgezählten Schritten der Systemtechnik, kann man drei typischen Phasen des Planungsprozesses unterscheiden.

- Informationsgewinnung
- Informationsverarbeitung
- Informationsauswertung

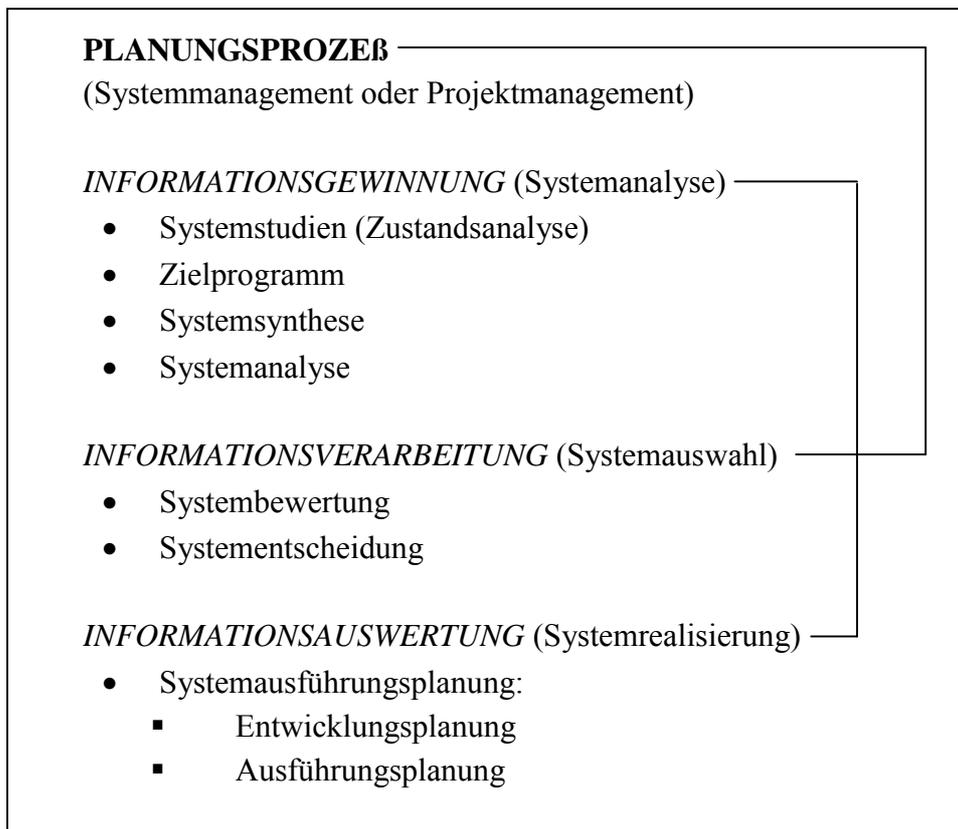


Bild 4.2 Planungsprozeß

Ausgehend aus dem dargestellten Planungsprozesses in **Bild 4.2** und der Vorgehensweise in der Systemtechnik in **Bild 4.1**, werden nun im folgenden Kapitel eine für unsere Aufgabenstellung nützlicher Planungsprozeß aufgestellt.

4.2 Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen

4.2.1 Grundsätzliches

Entsprechend der oben dargestellten Logik, wird nun das Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen aufgestellt. Aus den ganzen Erkenntnissen im **Abschnitt 3** und aus der Methodik aus **Kapitel 4.1**, wird schließlich ein Modell aufgebaut, welches das Vorgehen eines systematischen Bewertungsablaufes sichern und am Ende zu einem erfolversprechendem Ergebnis führen soll.

Bis hierhin der Arbeit wurde die Aufgabenstellung auf theoretischer Basis behandelt. Eine Literaturrecherche zur "Bewertungsverfahren zur Konzeptauswahl" wurden in **Abschnitt 3** dargestellt. Nun erfolgt die Praxis am Beispiel der "Bewertung der Konzepte zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen". Das Modell wird, wie in **Kapitel 4.2**, nach dem gleichem Schema aufgebaut.

Es ist hier wichtig nochmals zu erwähnen, daß der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit verschiedene Einzelmaßnahmen darstellen, die in der Aufgabenstellung als "Konzepte" formuliert werden. Ein Konzept besteht jedoch aus mehreren Einzelmaßnahmen und wird nach dem Grundmodell in der zweiten Stufe des Entwicklungsmodells bearbeitet. Die erste Stufe, die in **Bild 4.3** mit grün hinterlegten Bereiche, werden in dieser Arbeit behandelt. Eine quantitative Bewertung in Form einer Betriebskostenrechnung für favorisierte Klimatisierungskonzepte konnte deshalb zum Abschluß der Arbeit noch nicht durchgeführt werden. Außerdem waren zum Zeitpunkt dieser Arbeit, die Simulationsberechnungen der Einzelmaßnahmen noch nicht abgeschlossen. Dies führte automatisch dazu, daß die vollständige Bewertung der Einzelmaßnahmen noch nicht durchgeführt werden konnte. Aus diesem Grund wird in unserem Fall, eine Bewertung der Einzelmaßnahmen aus Sicht der system- und einbautechnischen Randbedingungen durchgeführt. Auf dieses Thema wird in **Abschnitt 7** näher eingegangen.

4.2.2 Arbeitsschritte beim Grundmodell

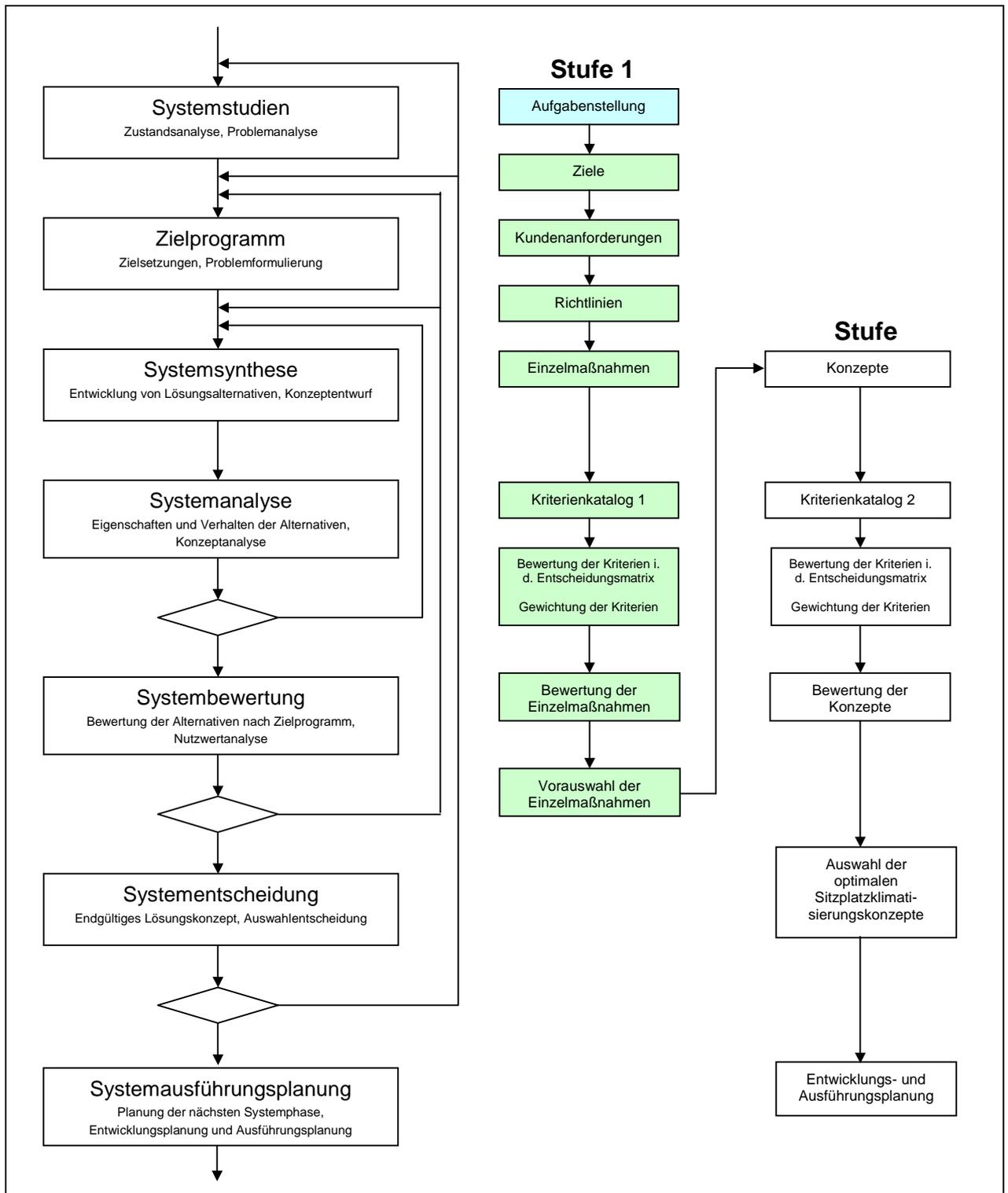


Bild 4.3 Grundmodell zur Bewertung von Konzepten zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen nach der Methodik der Systemtechnik

Die **Arbeitsschritte des Grundmodells** werden in diesem Kapitel beschrieben. Die Erklärungen sind wie in **Bild 4.3** aufgegliedert.

Stufe 1

Nachdem in der ersten Stufe des Modells die Aufgabenstellung formuliert ist, werden die Ziele des zu entwerfenden Systems aufgestellt. (s. auch **Kapitel 2.3**)

1. Ziele (s. EADS 1999)

- Hauptziel: “Verbesserung des thermischen Komforts des einzelnen Passagiers“
- Verbesserter Passagierkomfort soll als Marketinginstrument für die Airlines dienen.
- Bindung des Passagiers an die Airline.
- usw.

2. Kundenanforderungen (s. Anhang B.1)

- Katalog, die die Anforderungen der Passagiere und der Betreiber an das Klima- und Sitzkomfort umreißen. Diese wurden von der EADS Airbus GmbH untersucht und aufgestellt.

3. Richtlinien (s. Anhang B.2)

- Für die Entwicklung und Konstruktion der Sitze sowohl als auch ihre Installation geltenden Voraussetzungen.

4. Einzelmaßnahmen (s. Abschnitt 5)

- Entwicklung von Lösungsvarianten (Einzelmaßnahmen) auf der Grundlage der in den ersten Schritten gewonnenen Informationen. Es wurden in drei verschiedenen Kategorien, insgesamt 20 Einzelmaßnahmen entwickelt.

5. Kriterienkatalog 1 (s. Abschnitt 6)

- Kriterien, die die system- und einbautechnischen Randbedingungen der Flugzeugkabine für die *Einzelmaßnahmen* beschreiben. Hierzu sind 22 Kriterien aufgestellt worden.

6. Bewertung und Gewichtung der Bewertungskriterien (s. Kapitel 7.2)

- Bewertung der 22 Kriterien mittels einer Entscheidungsmatrix.

7. Bewertung der Einzelmaßnahmen (s. Kapitel 7.3)

- Es werden 20 Einzelmaßnahmen überprüft und nach dem Verfahren der “Nutzwertanalyse“ bewertet. Die Bewertung wird im **Abschnitt 7** ausführlich erläutert.

8. Vorauswahl der Einzelmaßnahmen (s. Kapitel 7.4)

- Bei der Bewertung der Einzelmaßnahmen in **Kapitel 7.4** wird eine Vorauswahl getroffen, um die Anzahl der nützlichen und brauchbaren Einzelmaßnahmen soweit zu reduzieren.

Mit *Arbeitsschritt 8* ist die Darstellung der *Stufe 1* in dieser Arbeit abgeschlossen. Die nachfolgenden Arbeitsschritte der *Stufe 2*, werden in Zukunft weiterverfolgt und bearbeitet.

Stufe 2

1. Konzepte

- Zusammenstellung der Konzepte aus mehreren optimalen Einzelmaßnahmen, die durch das Ergebnis der Stufe 1 festgestellt worden sind.

2. Kriterienkatalog 2

- Kriterien, die die system- und einbautechnischen Randbedingungen der Flugzeugkabine für die *Konzepte* beschreiben. Hier gilt für die gleichen Kriterienpunkte eine andere Betrachtungsweise. Das Gesamtsystem und ihre gegenseitige Funktionalität wird betrachtet.

3. Bewertung und Gewichtung der Bewertungskriterien

- Nochmalige Bewertung der 22 Kriterien mittels einer Entscheidungsmatrix.

4. Bewertung der Konzepte

- Die Konzepte werden mittels der Bewertungskriterien mit dem Verfahren "Nutzwertanalyse" bewertet.

5. Auswahl der optimalen Sitzplatzklimatisierungskonzepte

- Ein Auswahl der optimalen Klimatisierungskonzepte wird ausgeführt. Dies geschieht durch den Rang der Bewertung. Das Konzept mit dem größten Nutzwert wird als bestgeeigneter Entwurf angenommen.

6. Entwicklungs- und Ausführungsplanung

- In diesem Schritt werden alle notwendigen Planungen durchgeführt, um die favorisierten Konzepte aus Schritt 5 zu verwirklichen, wie z.B. die materielle Entwicklung von Systemkomponenten, die Entwicklung notwendiger Prototypen und deren Testfolgen, Planung aller Maßnahmen zur Realisierung, Einsatzüberwachung und der laufenden Systemverbesserung.

Alle Schritte des Grundmodells werden nach der in **Kapitel 4.1** aufgestellten Planungsprozesse, mehrmals durchlaufen, um am Ende des Prozesses ein sicheres, funktionsfähiges und für den Einsatz in Passagierflugzeugen geeignetes System zu haben.

5 Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung

5.1 Grundsätzliches

Dieser Abschnitt der Arbeit beschreibt die Einzelmaßnahmen und gibt ihre wesentlichen Merkmale wieder. Die Einzelmaßnahmen wurden in drei verschiedenen Kategorien betrachtet. Diese drei Kategorien sind die drei Wirkungsprinzipien, die schon in **Abschnitt 2.2.2** angesprochen wurden. Um einen besseren Überblick und eine Strukturierung zu bekommen, wurden die Einzelmaßnahmen in diese drei Kategorien eingeteilt. Die Numerierung der Einzelmaßnahmen bei der Bewertung werden, wie unten aufgezählt, übernommen. Die Einzelmaßnahmen wurden aus Vorschlägen des **Fraunhofer Instituts für Bauphysik (Schwab 2000)** und mit der Unterstützung von **DaimlerChrysler Forschung und Technologie**, zusammengestellt.

1. Einzelmaßnahmen mittels Konvektion (Wärmemitführung)

- 1.1 Größere Luftduschen am Hatrack
- 1.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)
- 1.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft
- 1.4 Servicesäule (Umluft)
- 1.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft
- 1.6 Armlehne (Umluft)
- 1.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft
- 1.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)
- 1.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft

Konvektion (Wärmemitführung)

Die Wärme fließt von einem bewegten Medium (Flüssigkeit oder Gas) an einen festen Körper oder umgekehrt, z.B. von Luft an eine Wand. Die Teilchen befinden sich zueinander in Bewegung.

- Luftgeschwindigkeit
- Turbulenzgrad
- Lufttemperatur

2. Einzelmaßnahmen mittels Strahlung

- 2.1 Strahlungsflächen am Hatrack
- 2.2 IR Strahler am Hatrack
- 2.3 IR Strahler an der Rückenlehne
- 2.4 Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz
- 2.5 Ohrensessel – Strahlungsschirm/Warmluftteppich
- 2.6 Seitenwand beheizt
- 2.7 Seitenwand beschichtet

Strahlung

Die Wärmestrahlung stellt einen Energietransport durch elektromagnetische Wellen dar. Die Wärmeübertragung erfolgt von einem Körper zum anderen ohne materielle Träger.

- Temperatur der Umschließungsflächen
- Direkte Einstrahlung (Sonne)
- Emissivität der Oberflächen

3. Einzelmaßnahmen mittels Wärmeleitung

- 3.1 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche
- 3.2 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)
- 3.3 Sitzheizung
- 3.4 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer

Wärmeleitung

Die Wärme wird innerhalb eines Körpers von Teilchen zu Teilchen durch intermolekulare Wechselwirkungen weitergeleitet. Die Teilchen befinden sich zueinander in Ruhe.

- Temperatur der Kontaktflächen
- Wärmeleitkoeffizient

Wärmeproduktion

Durch Aktivität und Kleidung erzeugte Wärme.

- Aktivität (clo - Maß für die Bekleidung)
- Kleidung (met - Maß für die Aktivität)

Bevor die Einzelmaßnahmen einzeln betrachtet werden, sind noch einige Einbauuntersuchungen gemacht worden, die vorgestellt werden sollen. Als erstes werden die Einbauorte des Systems und die Wirkprinzipien gegenübergestellt (**Tabelle 5.1**). In dieser Tabelle kann man deutlich sehen, mit welchem *Wirkprinzip* und welchem *Einbauort* welche *Art von Klimatisierung* möglich ist. Außerdem kann man in **Tabelle 5.2** die Ergebnisse einer Einbauuntersuchung sehen, die die Kombinationsmöglichkeiten zwischen den Einzelmaßnahmen untersucht hat.

Tabelle 5.1 Kombination von Einbauort und Wirkprinzip

Einbauort	temperierbarer Zuluft			Umluft		Kühlung	Heizung	
	aktiv kühlen	neutral T _u	aktiv heizen	aktiv heizen	neutral T _u (Kühlung)			
Konvektion	Hatrack	✓	✓	✓	—	—	✓	
	Rückenlehne	✓	✓	✓	✓	—	✓	
	Armlehne	✓	✓	✓	✓	—	✓	
	Servicesäule	✓	✓	✓	✓	—	—	
	Fußbereich-eigener Sitz	✓	✓	✓	✓	—	—	
	Fußbereich-Vordersitz	✓	✓	✓	✓	—	✓	
	Fußboden (Teppich)	—	—	—	—	—	✓	
	Seitenwand	—	—	—	—	—	✓	
	Kopfstütze	—	—	—	—	—	✓	
	Vorhang (Luftschleier)	✓	✓	✓	—	—	—	
Wärmeleitung	Kühlung		Heizung		Kühlung		Heizung	
	Sitzkontaktfläche	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Kopfstütze	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Fußboden (Teppich)	—	—	—	—	—	✓	

Tabelle 5.2 Kombinationsmöglichkeiten zwischen Einzelmaßnahmen

Konzeptkombinationen		3.4	3.3	3.2	3.1	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	
1.1	Größere Luftduschen am Hatrack	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.2	Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.3	Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.4	Servicesäule (Umluft)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.5	Servicesäule mit temperierbarer Zuluft	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.6	Armlehne (Umluft)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.7	Armlehne mit temperierbarer Zuluft	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.8	Heizung des Fußraumes (Umluft)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.9	Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.1	Strahlungsflächen am Hatrack	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.2	IR Strahler am Hatrack	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.3	IR Strahler an der Rückenlehne	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.4	Fußbodenheizung durch Strahlung unter dem Vordersitz	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.5	Ohrensessel - Strahlungsschirm / Warmluftteppich	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.6	Seitenwand beheizt	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.7	Seitenwand beschichtet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.1	Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.2	Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.3	Sitzheizung	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.4	Fußbodenheizung durch Fußabstreifer	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

- ✓ Kombination ist möglich
- ✗ Kombination ist möglich aber unrealistisch
- Kombination ist nicht möglich
- Nur Heizung möglich
- Heizung und Kühlung möglich

5.2 Einzelmaßnahmen mittels Konvektion

5.2.1 Größere Luftduschen am Hatrack

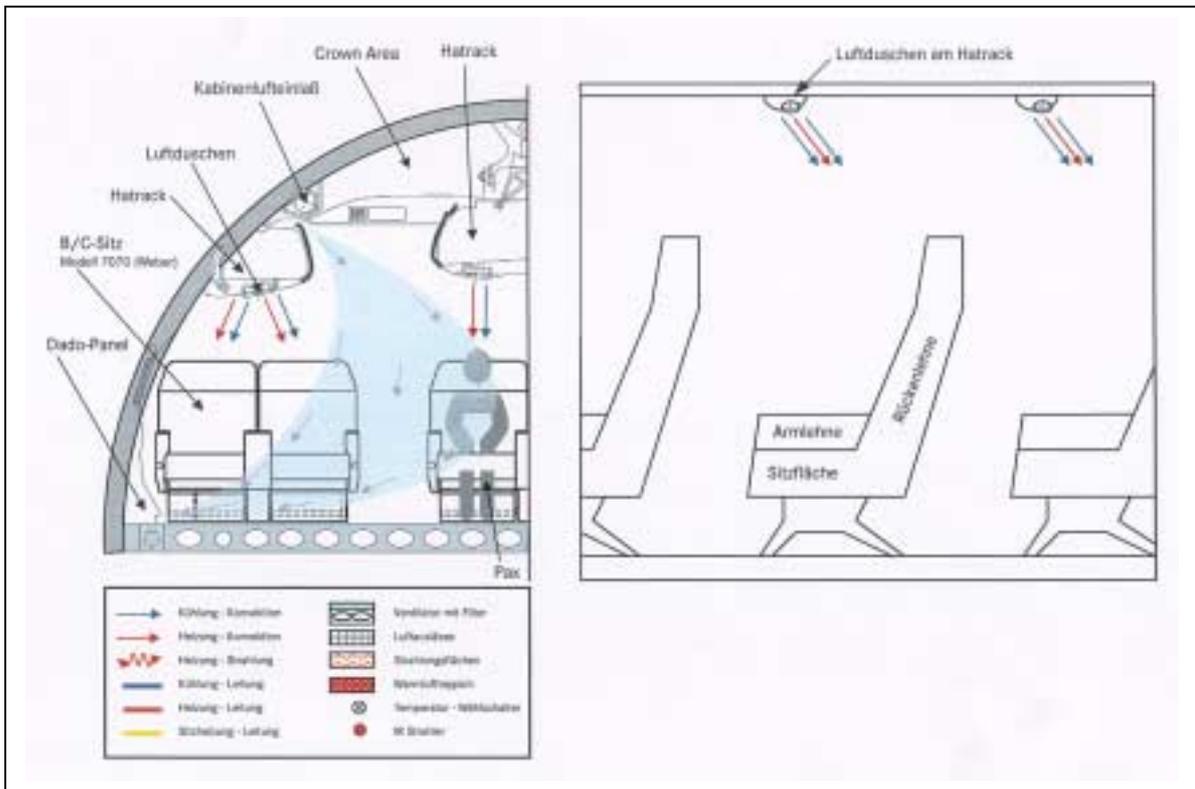


Bild 5.1 Größere Luftduschen am Hatrack

Funktion

- Kühlung (evtl. Heizung) durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- Hatrack

Bedienung/Steuerung

- Manuelle-Steuerung; Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen
- Nicht individuell; nur Ein-Aus-Schaltung; keine Einflüsse des Passagiers auf die Temperaturbestimmung
- Temperatur wird aus dem Cockpit vorgegeben (Zone-Temp.)

Realisierungsmerkmale

- Heiz- und Kühlleistung können nicht individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Kühlung (evtl. Heizung) des Kopfbereichs

- Platzbedarf ist gegeben; Konstruktionsaufwand ist klein
- „Bei Langstreckenflugzeugen der Lufthansa nicht mehr benutzt; da kein großer Einfluß; Globale Klimatisierung ausreichend“
- Flexibel; bei allen Flugzeugtypen einsetzbar; in verschiedenen Konfigurationen möglich
- Beeinflussung des Nachbarn
- Bedienung: einfach, schnell, zuverlässig - aber Probleme bei kleineren Personen mit kürzeren Armen
- Für die Verwirklichung in den mittleren Sitzreihen müssen Center-Hatracks vorhanden sein; falls keine vorhanden, muß das System durch andere Bedieneinrichtungen steuerbar sein

5.2.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)

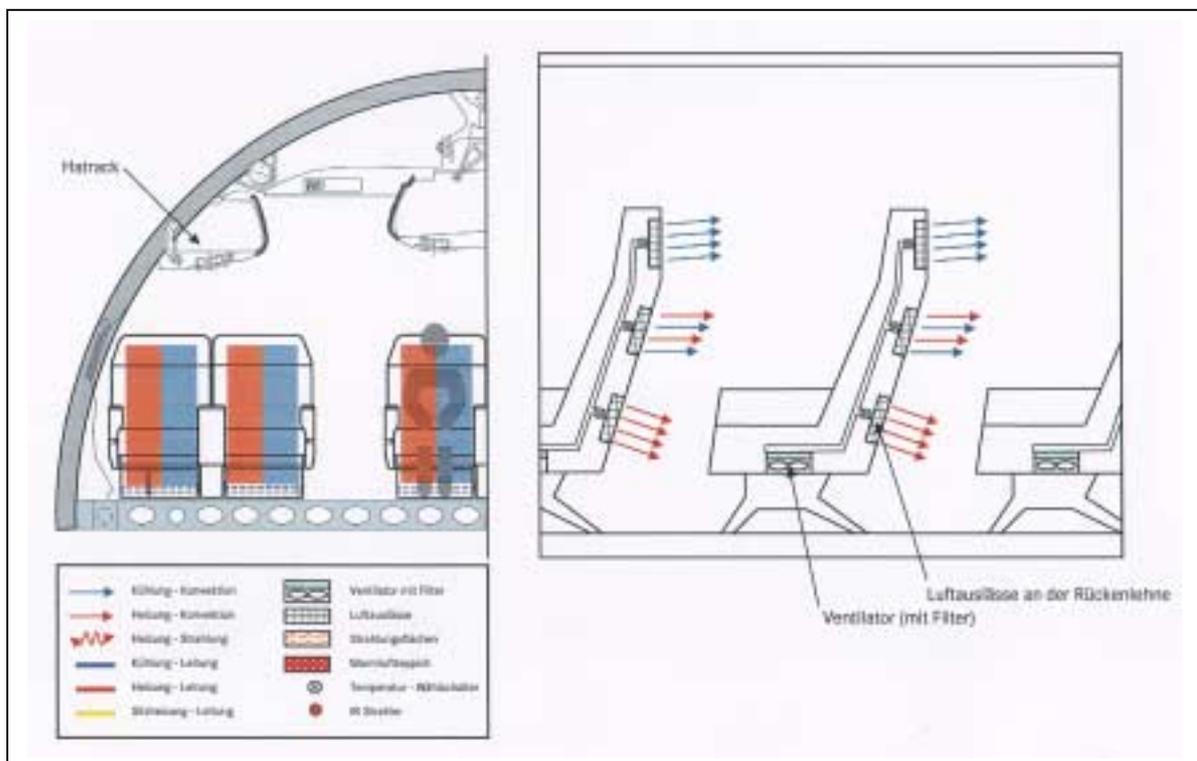


Bild 5.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)

Funktion

- Kühlung (evtl. Heizung) durch Umluft

Einbauort

- Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Zusätzlich manuelle Steuerung: Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen

Realisierungsmerkmale

- Eingebauter Ventilator (evtl. mit Heizer) im Sitz
- Kühlung (evtl. Heizung) des gesamten Körpers (von vorne)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Risiko: Verletzungsgefahr im Kopfbereich und Oberschenkelbereich beim Crash oder Notlandung
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren, ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller; flugzeugseitiger Konstruktionsaufwand ist klein
- Durch den Einbau des Videomonitors zwischen den Sitzen und der Tische an den Außen-Armlehnen steht prinzipiell Platz in der Rückenlehne zur Verfügung
- Geringeres Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Durch größeren Abstand zum Vordersitz bei F/C Sitzen besteht u.U. eine geringe Wirksamkeit
- Größere Platzkapazität bei F/C Sitzen um ein Ventilator/ Heizer/ Luftauslässe/ Rohrleitungen und Bedienelemente zu installieren
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen und Heizen (noch unbekannt)

5.2.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft

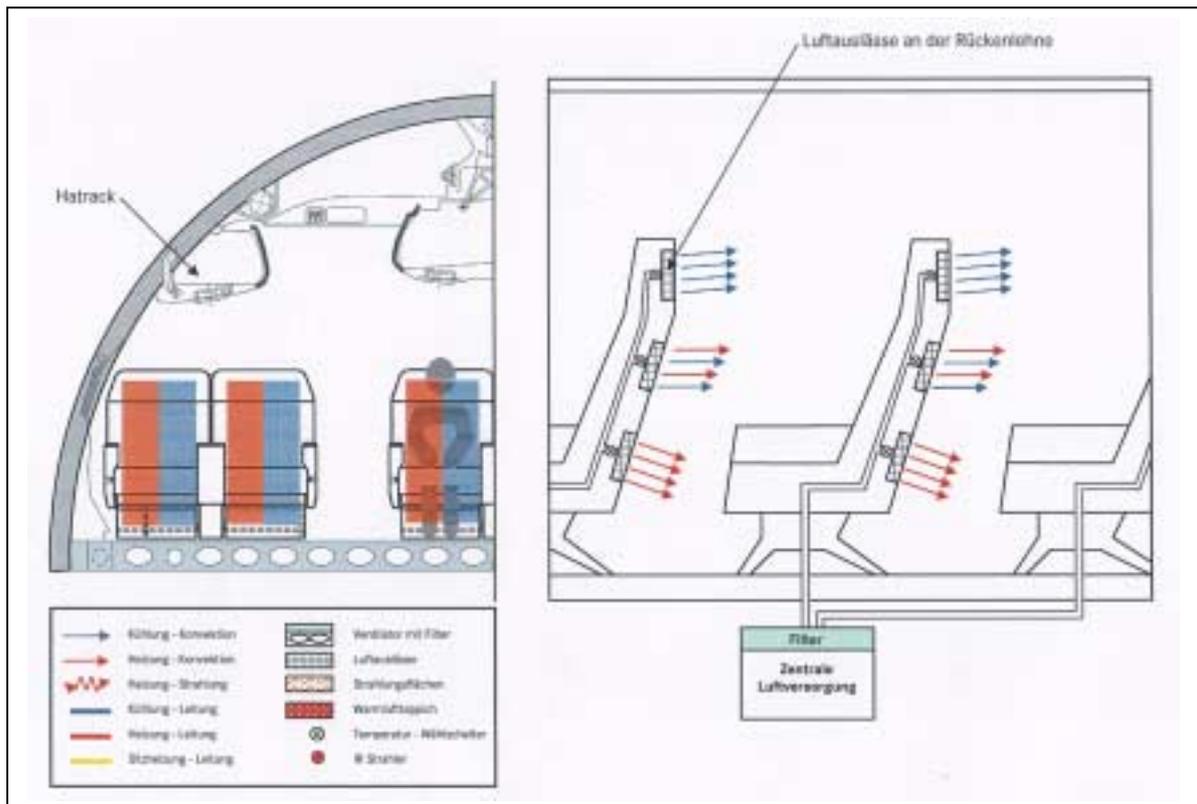


Bild 5.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft

Funktion

- Kühlung und Heizung durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Zusätzlich manuelle Steuerung: Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen

Realisierungsmerkmale

- Kühlung und Heizung durch zentrale Luftversorgung
- Kühlung und/oder Heizung des gesamten Körpers (von vorne)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Risiko: Verletzungsgefahr im Kopfbereich und Oberschenkelbereich beim Crash oder Notlandung

- Platzbedarf: Durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeug Forderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller; Luftleitungen vom Mixer-Verteilung zu den Sitzen schwer realisierbar durch Platzmangel und schlechte Flexibilität; Konstruktionsaufwand ist groß
- Durch den Einbau des Videomonitors zwischen den Sitzen und der Tische an den Außen-Armlehnen steht prinzipiell Platz in der Rückenlehne zur Verfügung
- großes Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Durch größeren Abstand zum Vordersitz bei F/C Sitzen besteht u.U. eine geringe Wirksamkeit
- Größere Platzkapazität bei F/C Sitzen um ein Ventilator /Heizer /Luftauslässe /Rohrleitungen und Bedienelemente zu installieren
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen und Heizen (noch unbekannt)

5.2.4 Servicesäule (Umluft)

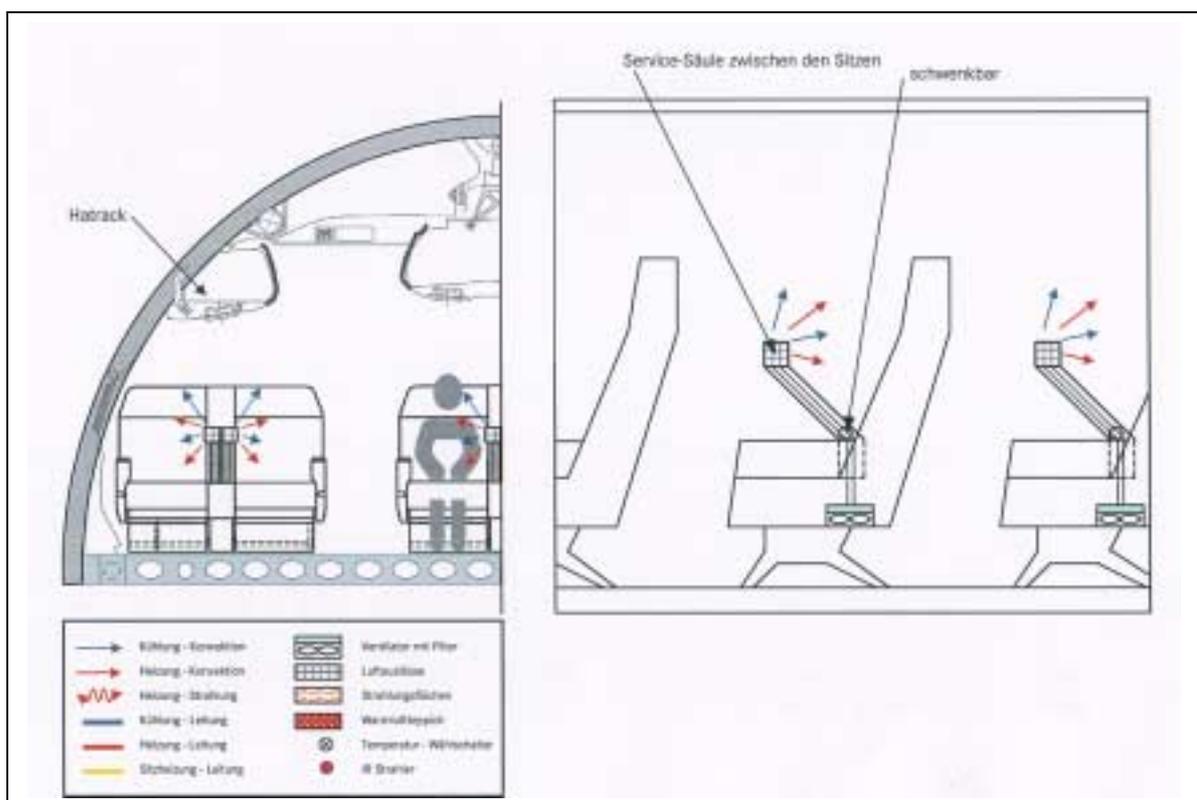


Bild 5.4 Servicesäule (Umluft)

Funktion

- Kühlung (evtl. Heizung) durch Umluft

Einbauort

- Servicesäule zwischen den Sitzen eingebaut

Bedienung/Steuerung:

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen in der Servicesäule schwenkbar

Realisierungsmerkmale

- Eingebauter Ventilator (evtl. mit Heizer) im Sitz
- Kühlung (evtl. Heizung) des Körpers oberhalb der Beine (von der Seite)
- Kühlung (evtl. Heizung) durch eingebauten Lüfter im Sitz
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Risiko: Verletzungsgefahr bei Notfall oder Evakuierung; deshalb Servicesäule nach hinten schwenkbar
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren, ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Konstruktionsaufwand ist mittelgroß
- Bedienung: kompliziert aber erlernbar
- Viele Bauteile am Sitz aber dadurch ein kompaktes System
- Flexibel
- Platzbedarf für Ventilator/ Luftauslässe/ Rohrleitungen/ Bedienelemente und Einbauort für Servicesäule
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen eventuell zum Heizen (noch unbekannt)

5.2.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft

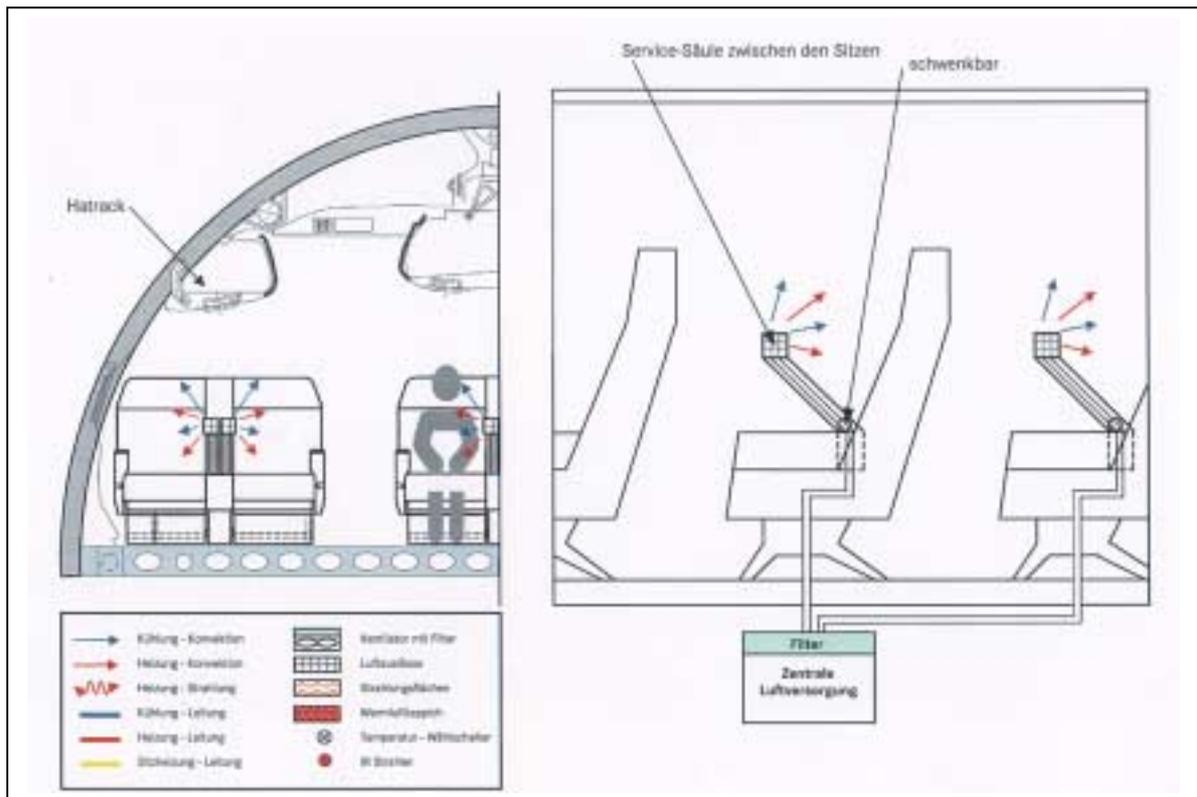


Bild 5.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft

Funktion

- Kühlung und Heizung durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- Servicesäule zwischen den Sitzen eingebaut

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen in der Servicesäule; schwenkbar

Realisierungsmerkmale

- Kühlung und Heizung durch zentrale Luftversorgung
- Kühlung und Heizung des Körpers oberhalb der Beine (von der Seite)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Risiko: Verletzungsgefahr bei Notfall oder Evakuierung; deshalb Servicesäule nach hinten schwenkbar

- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeug Forderungen kollidieren, ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Konstruktionsaufwand ist groß
- Bedienung: kompliziert aber erlernbar
- Viele Bauteile am Sitz und am Flugzeug; dadurch ein kompliziertes System; hohes Gewicht
- Inflexibel
- Platz für Luftauslässe/ Rohrleitungen/ Bedienelemente und Einbauort für Servicesäule
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen eventuell zum Heizen (noch unbekannt)

5.2.6 Armlehne (Umluft)

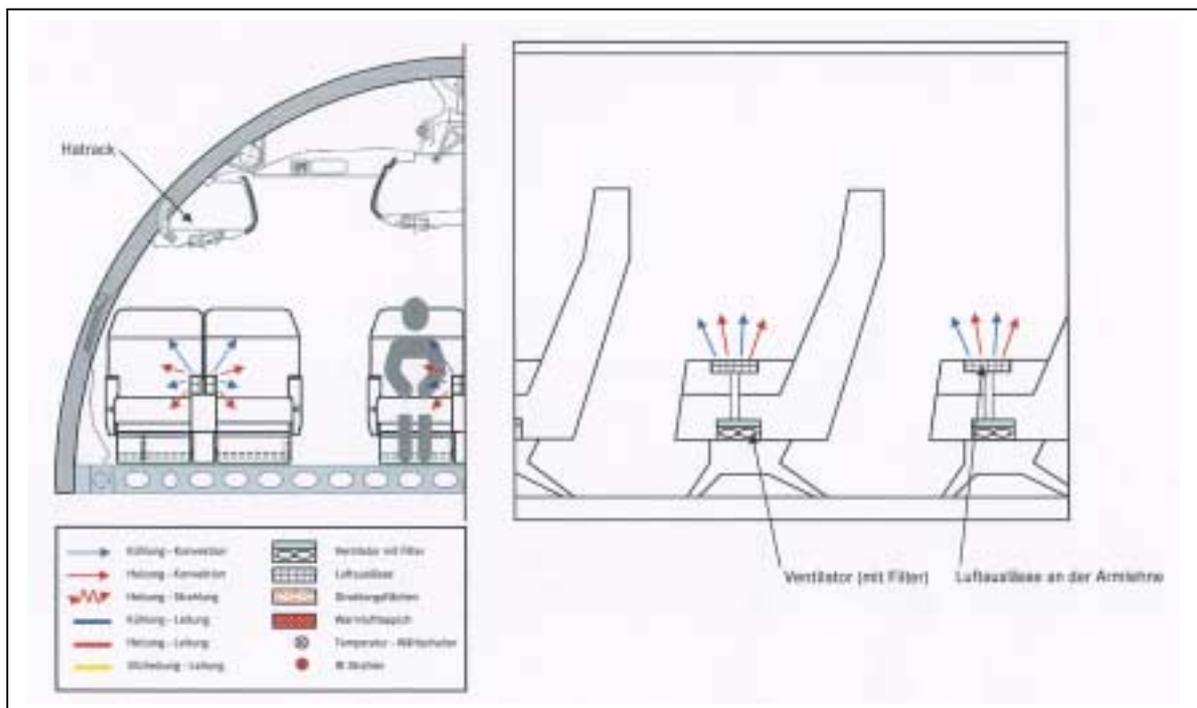


Bild 5.6 Armlehne (Umluft)

Funktion

- Kühlung (evtl. Heizung) durch Umluft

Einbauort

- In der Armlehne zwischen den Sitzen eingebaut

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen in der Armlehne

Realisierungsmerkmale

- Eingebauter Ventilator (evtl. mit Heizer) im Sitz
- Kühlung (evtl. Heizung) des mittleren Körperteils (von der Seite)
- Kühlung (evtl. Heizung) durch eingebauten Lüfter im Sitz
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeug Forderungen kollidieren, ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Konstruktionsaufwand ist klein
- Bedienung: einfach
- Wenige Bauteile; dadurch ein kompaktes System; geringes Gewicht
- Flexibel
- Platz für Ventilator/ Luftauslässe/ Rohrleitungen und Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen eventuell zum Heizen (noch unbekannt)

5.2.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft

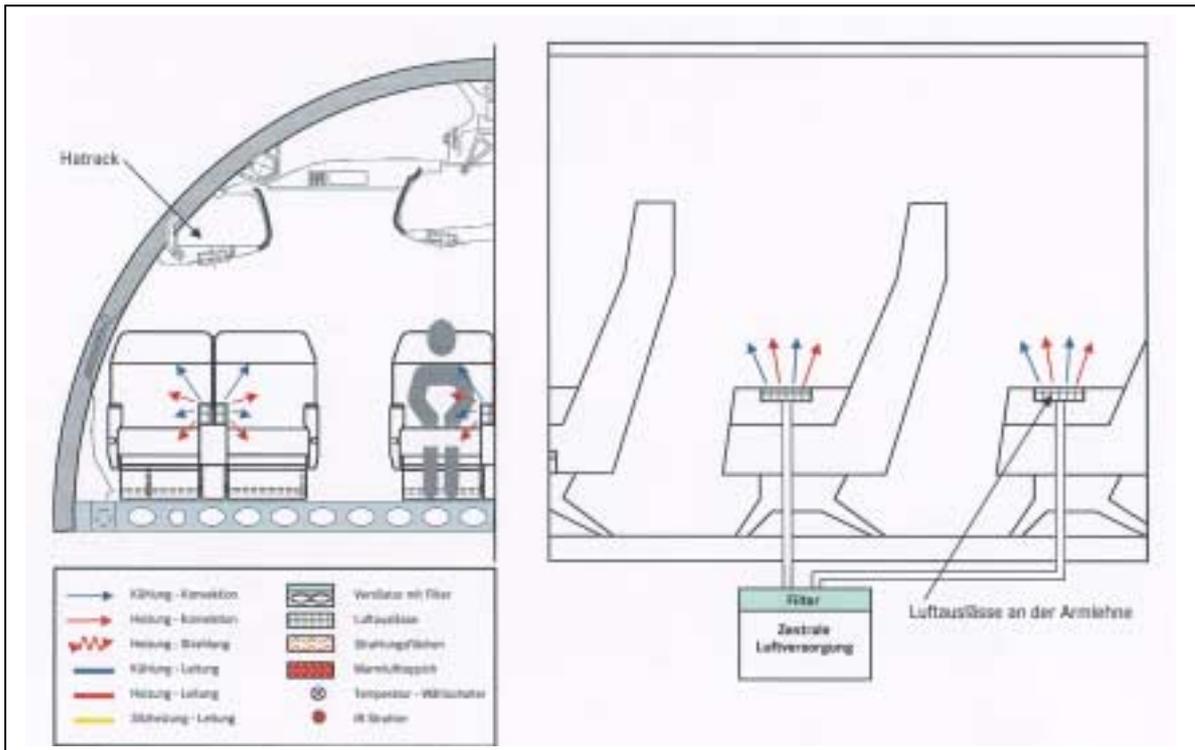


Bild 5.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft

Funktion

- Kühlung und Heizung durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- In der Armlehne zwischen den Sitzen eingebaut

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Drehschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Luftmenge kann variiert werden durch Drosselklappe, Regulierungsklappen oder durch Jalousieklappen in der Armlehne

Realisierungsmerkmale

- Kühlung und Heizung durch zentrale Luftversorgung
- Kühlung und Heizung des mittleren Körperteils (von der Seite)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeug Forderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller

- Konstruktionsaufwand ist groß
- Bedienung: einfach
- Viele Bauteile dadurch ein kompliziertes System; hohes Gewicht
- Inflexibel
- Platz für Luftauslässe/ Rohrleitungen und Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Kühlen eventuell zum Heizen (noch unbekannt)

5.2.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)

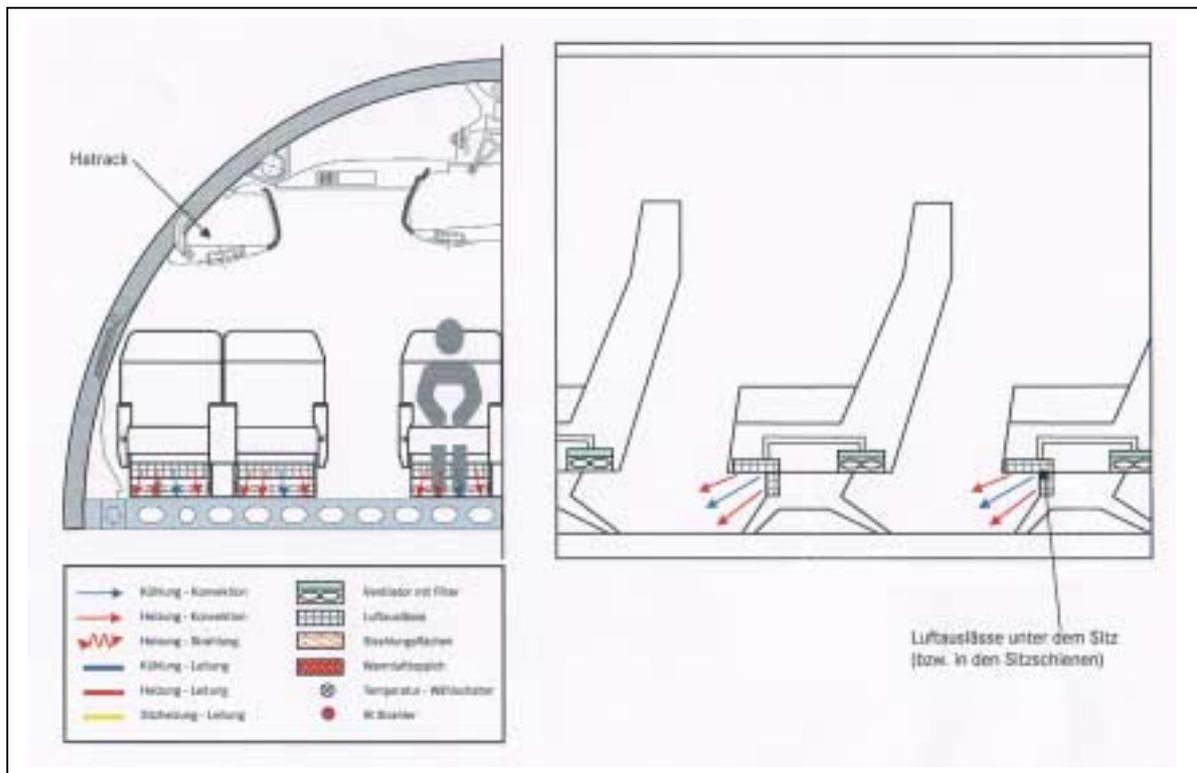


Bild 5.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)

Funktion

- Heizung (evtl. Kühlung) durch Umluft (mit Heizer)

Einbauort

- Unter dem Sitz eingebaut

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)

Realisierungsmerkmale

- Heizung (evtl. Kühlung) des Fußbereichs (von hinten)
- Flugzeugseitige Konstruktionsaufwand ist klein
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Bedienung: einfach
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Luftauslässe: Fußstützen können Probleme bereiten
- Wenige Bauteile dadurch ein kompaktes System; flexibel
- Platzbedarf für Ventilator/ Luftauslässe/ Rohrleitungen und Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Heizen eventuell zum Kühlen (noch unbekannt)

5.2.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft

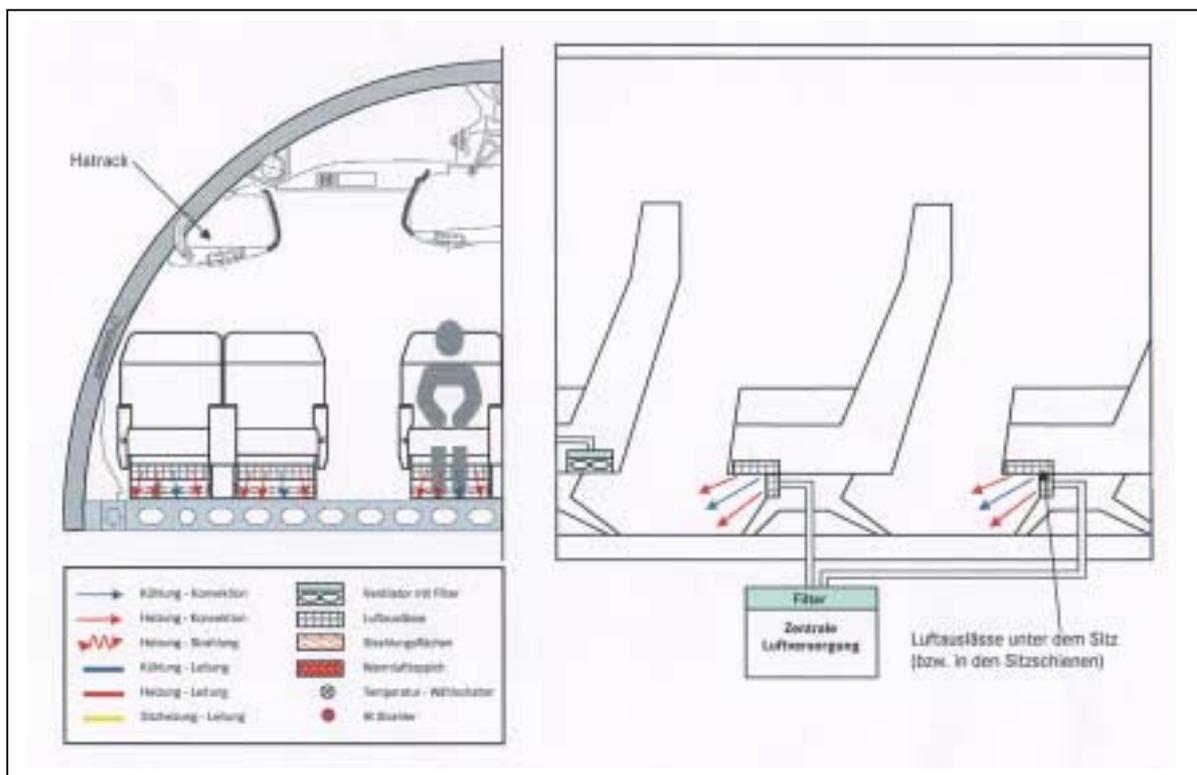


Bild 5.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft

Funktion

- Heizung (evtl. Kühlung) durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- Unter dem Sitz eingebaut

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)

Realisierungsmerkmale

- Heizung (evtl. Kühlung) des Fußbereichs (von hinten)
- Flugzeugseitige Konstruktionsaufwand ist groß
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Bedienung: einfach
- Geringe Beeinflussung des Nachbarn
- Viele Bauteile; dadurch ein kompliziertes System; hohes Gewicht; inflexibel
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Luftauslässe: Fußstützen können Probleme bereiten
- Platzbedarf für Ventilator/ Luftauslässe/ Rohrleitungen und Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge und elektrische Leistung zum Heizen eventuell zum Kühlen (noch unbekannt)

5.3 Einzelmaßnahmen mittels Strahlung

5.3.1 Strahlungsflächen am Hatrack

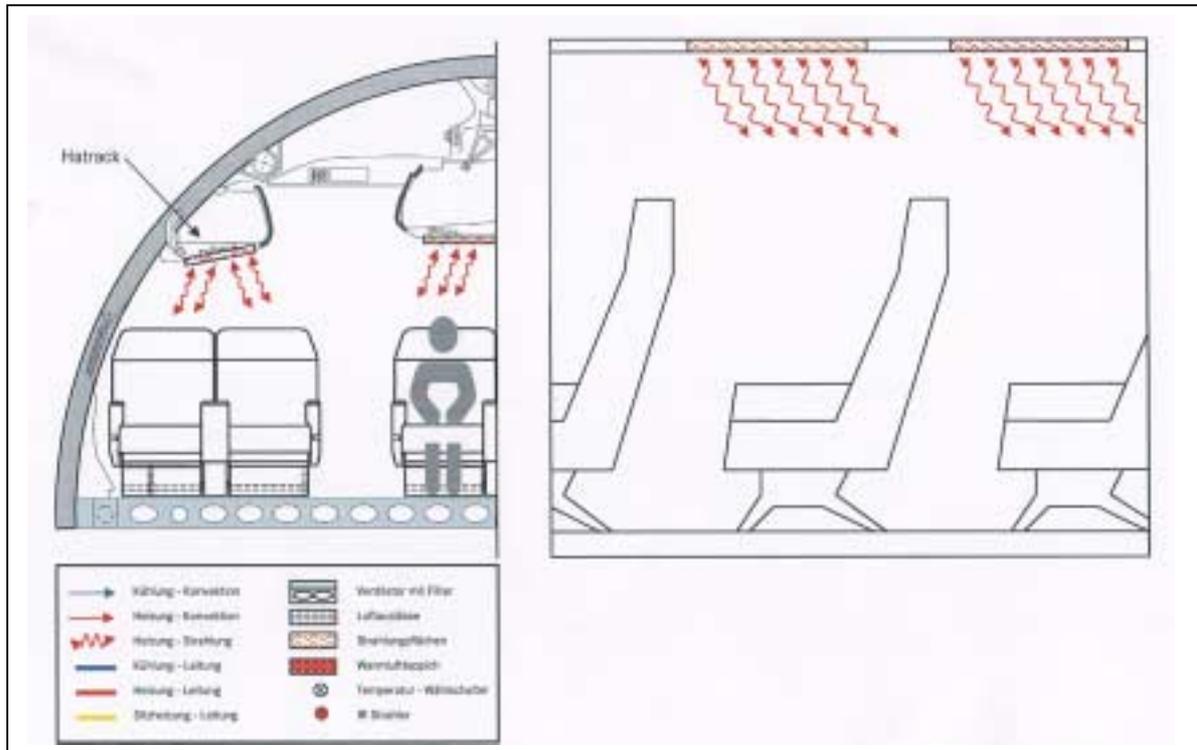


Bild 5.10 Strahlungsflächen am Hatrack

Funktion

- Heizung durch individuell einstellbare Strahlungseigenschaft

Einbauort

- Hatrack

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler); Kleine oder Große Strahlungsflächen

Realisierungsmerkmale

- Heizung durch zentrale Luftversorgung
- Heizung des Kopfbereiches (von oben)
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Bedienung: einfach
- Beeinflussung des Nachbarn
- Nur Heizung

- Platzbedarf: Schwer realisierbar durch Platzmangel und schlechte Flexibilität im Hatrack
- Konstruktionsaufwand ist groß
- Platzbedarf für Strahlungsflächen/ Rohrleitungen/ Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge zum Heizen (noch unbekannt)
- Risiko: Brand- und Verbrennungsgefahr (z.B. Hände)

5.3.2 IR Strahler am Hatrack

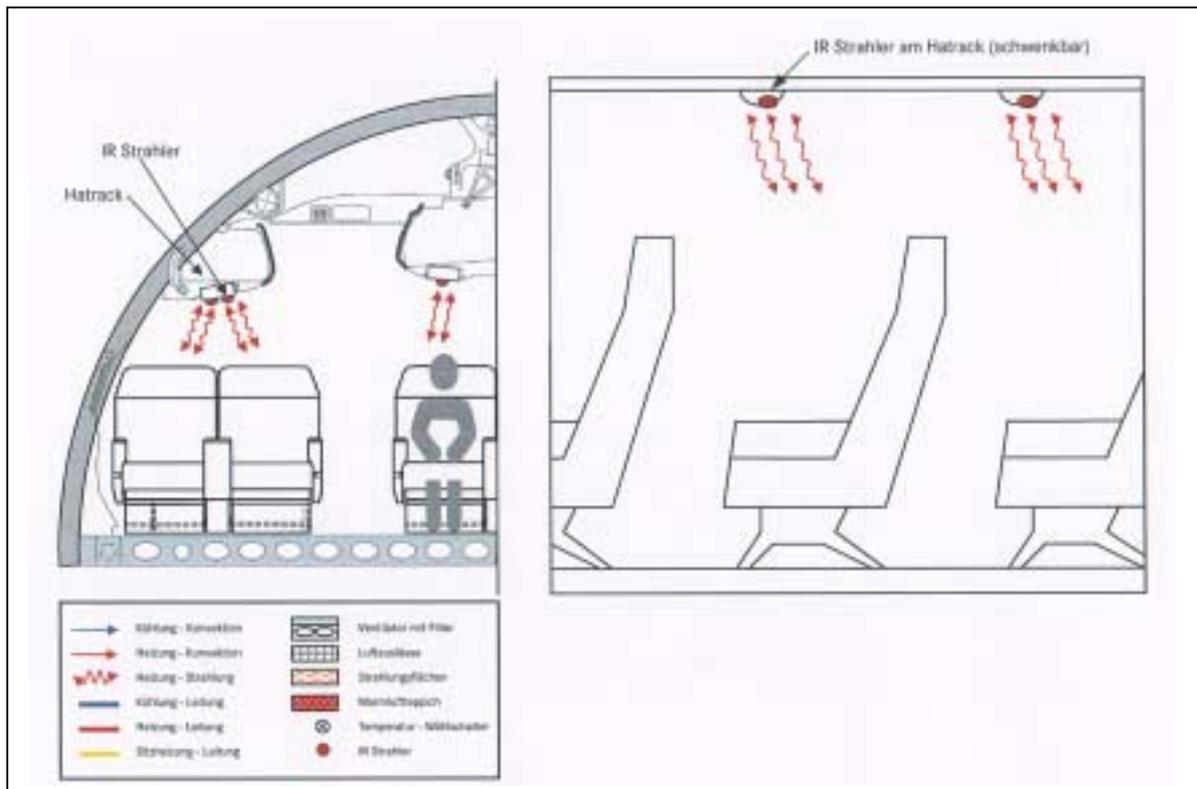


Bild 5.11 IR Strahler am Hatrack

Funktion

- Heizung durch IR Strahler

Einbauort

- Hatrack

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Druckknopfschalter (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- IR Strahler schwenkbar

Realisierungsmerkmale

- Heizung durch IR Strahler
- Heizung des Kopfbereichs (von oben)
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Nur Heizung
- Platzbedarf ist gegeben; Konstruktionsaufwand ist klein; schlechte Flexibilität im Hatrack
- Platzbedarf für IR Strahler und Bedienelemente
- Risiko: Brand- und Verbrennungsgefahr (z.B. Hände)
- Bedienung: einfach - aber Probleme bei kleineren Personen mit kürzeren Armen; schnell, zuverlässig
- Für die Verwirklichung in den mittleren Sitzreihen müssen Center-Hatracks vorhanden sein; falls keine vorhanden, muß das System durch andere Bedieneinrichtungen steuerbar sein
- Geringeres Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Notwendige elektrische Leistung zum Betreiben der IR Strahler (noch unbekannt)
- Für die Verwirklichung in der mittleren Sitzreihe müssen Center-Hatracks vorhanden sein

5.3.3 IR Strahler an der Rückenlehne

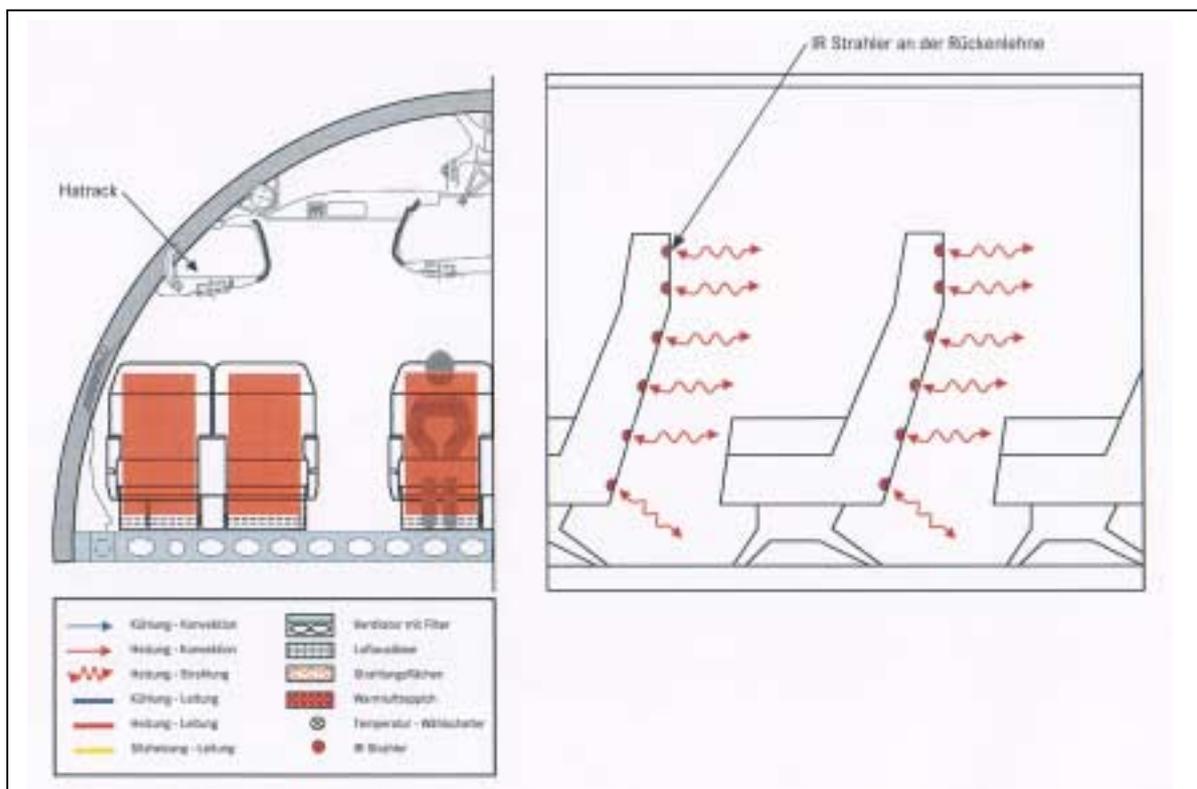


Bild 5.12 IR Strahler an der Rückenlehne

Funktion

- Heizung der vorderen Teile des Körpers durch IR Strahler

Einbauort

- Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Druckknopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- IR Strahler fest

Realisierungsmerkmale

- Heizung durch IR Strahler
- Heizung des mittleren Körperbereichs (von vorne)
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Nur Heizung
- Platzbedarf ist gegeben; Konstruktionsaufwand ist klein; schlechte Flexibilität im Hatrack
- Platzbedarf für IR Strahler und Bedienelemente
- Risiko: Brand- und Verbrennungsgefahr (z.B. Hände)
- Bedienung: einfach
- Geringeres Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Durch den Einbau des Videomonitors zwischen den Sitzen und der Tische an den Außen-Armlehnen hat man die Möglichkeit diese Einzelmaßnahme zu verwirklichen
- Notwendige elektrische Leistung zum Betreiben der IR Strahler (noch unbekannt)

5.3.4 Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz

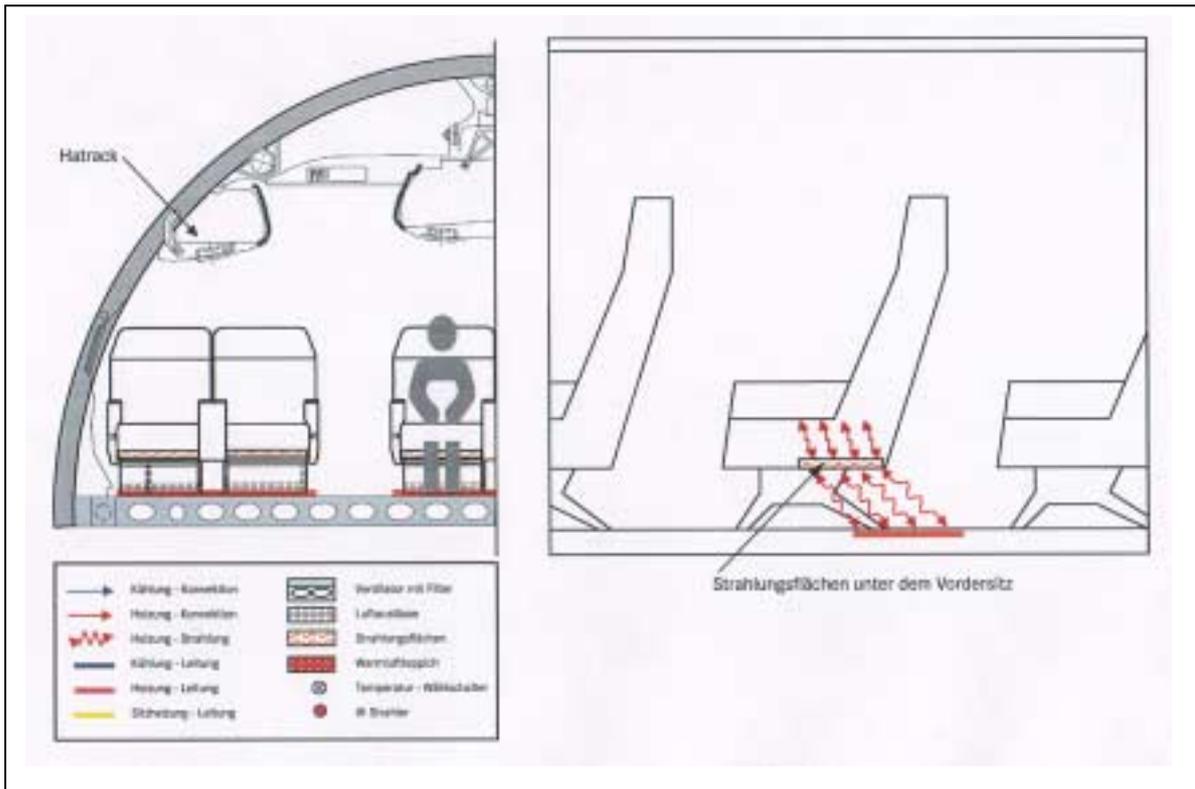


Bild 5.13 Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz

Funktion

- Heizung des Fußbodens durch IR Strahler

Einbauort

- Rückenlehne - unten

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Druckknopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- IR Strahler fest

Realisierungsmerkmale

- Heizung durch IR Strahler
- Heizung des Fußbereichs (von vorne)
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Nur Heizung
- Platzbedarf ist gegeben; Konstruktionsaufwand ist klein; schlechte Flexibilität im Hatrack
- Platzbedarf für IR Strahler und Bedienelemente

- Risiko: Brand- und Verbrennungsgefahr (z.B. Hände)
- Bedienung: einfach
- Geringeres Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Notwendige elektrische Leistung zum Betreiben der IR Strahler (noch unbekannt)

5.3.5 Ohrensessel – Strahlungsschirm / Warmluftteppich

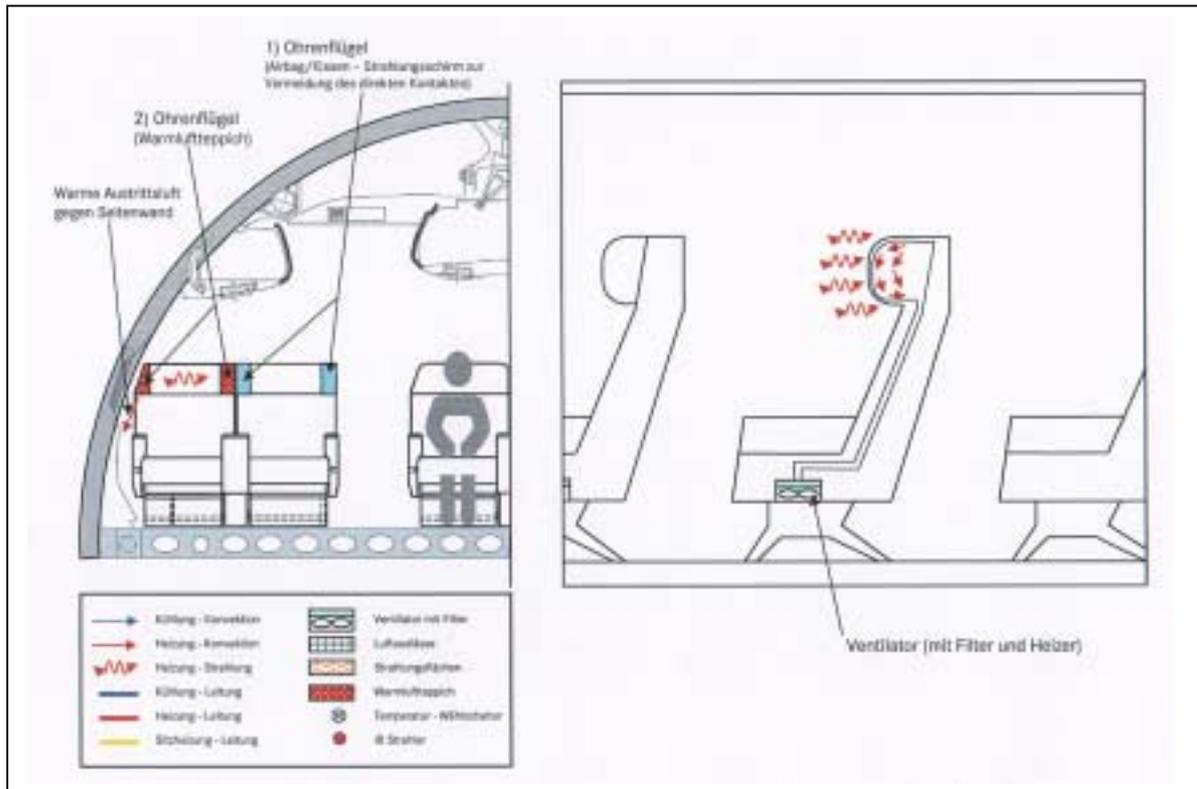


Bild 5.14 Ohrensessel – Strahlungsschirm / Warmluftteppich

Funktion

- 1.) Strahlungsschirm zur Vermeidung des direkten Kontaktes (Schulter/Wand)
- 2.) Warmluftteppich in der Kopfstütze

Einbauort

- Sitz-Kopfstützen

Bedienung/Steuerung

- 1.) Passiv: Ohrenflügel (Airbag/Kissen – Strahlungsschirm zur Vermeidung des direkten Kontaktes)
- 2.) Ohrenflügel (Warmluftteppich) – Bedienung durch Temp.-Wählheizer oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)

Realisierungsmerkmale

1.)

- Vermeidung des direkten Kontaktes zur kalten Wand durch Kopfstützen am Sitz
- Kaum Konstruktionsaufwand
- Geringes Gewicht

2.)

- Eingebauter Ventilator (mit Heizer) im Sitz
- Kühlung (evtl. Heizung) des Kopfes (von der Seite)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Beeinflussung des Nachbarn
- Bedienung: einfach
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Konstruktionsaufwand ist mittelgroß

5.3.6 Seitenwand beheizt

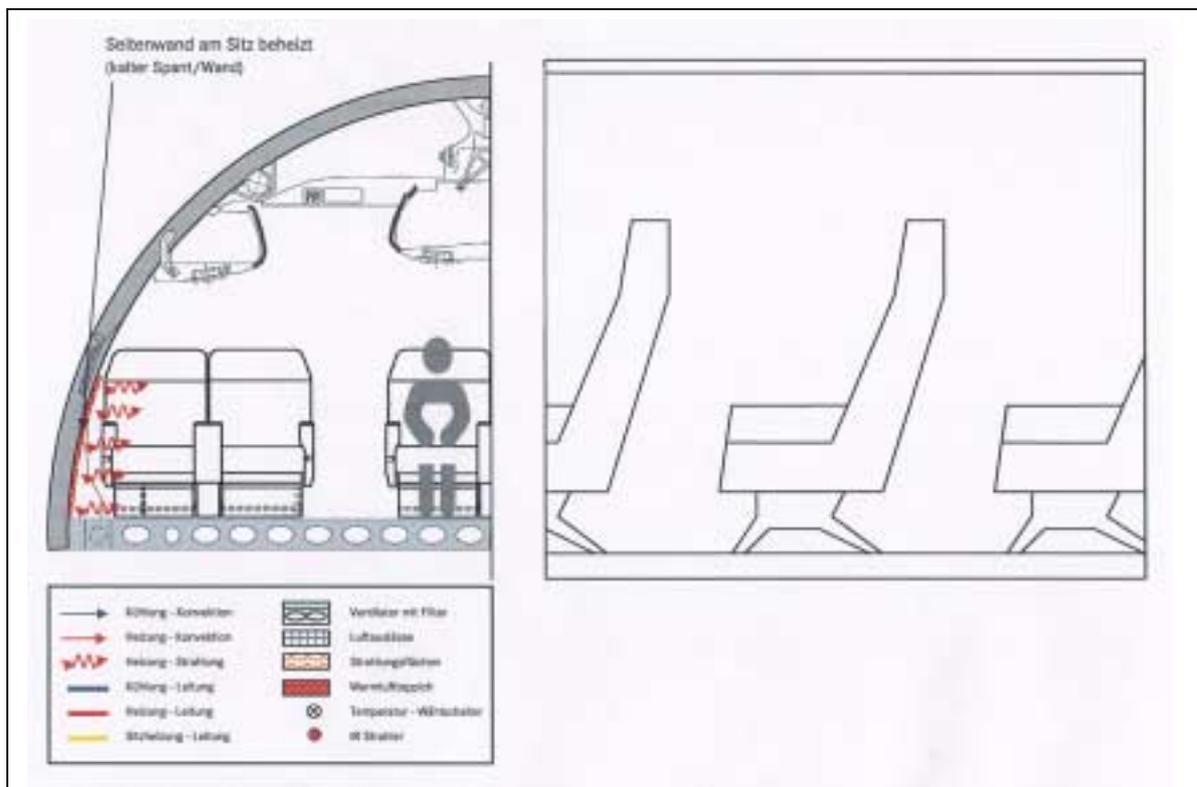


Bild 5.15 Seitenwand beheizt

Funktion

- Kühlen bzw. Heizen durch Seitenwand (kalter Spant/Wand – Schulter)

Einbauort

- Seitenwand

Bedienung/Steuerung

- Seitenfläche am Sitz beheizt (kalter Spant/Wand – Schulter); Bedienung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle Regler)

Realisierungsmerkmale

- Bedienung: einfach
- Platzbedarf für Bedienelemente/ Heizelemente und Ventilatoren
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Geringes Gewicht
- Konstruktionsaufwand klein
- Notwendige elektrische Leistung zum Betreiben der Strahlungsflächen (noch unbekannt)
- Einwirkung auf die Passagiere noch nicht bekannt
- Dado-Panel verkleinern die Heizfläche

5.3.7 Seitenwand beschichtet

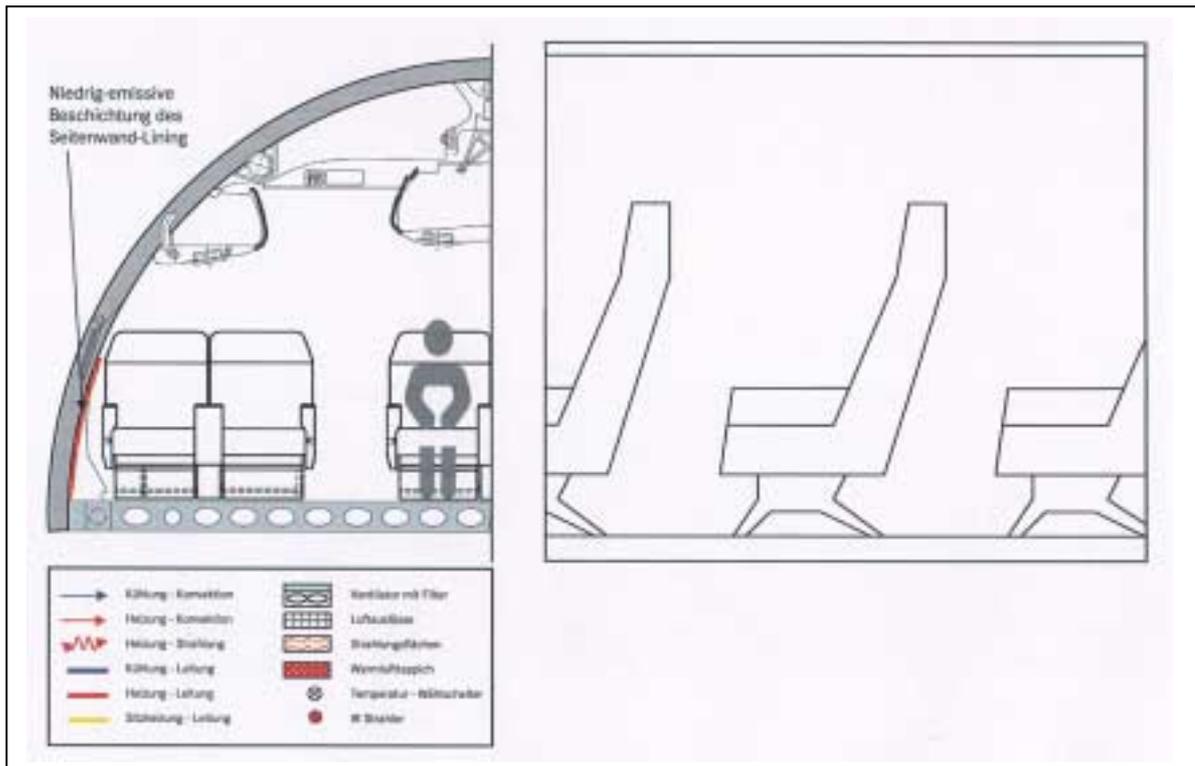


Bild 5.16 Seitenwand beschichtet

Funktion

- Niedrig-emissive Beschichtung des Seitenwand-Lining

Einbauort

- Seitenwand

Bedienung/Steuerung

- Passiv: Seitenwand-Lining mit niedrig-emissiver Beschichtung

Realisierungsmerkmale

- Bedienung nicht notwendig – Passive Maßnahme
- Kostengünstig; Hohe Lebensdauer; Wartungsfrei
- Erbrachte Energieeffizienz noch nicht bekannt

5.4 Einzelmaßnahmen mittels Wärmeleitung

5.4.1 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche

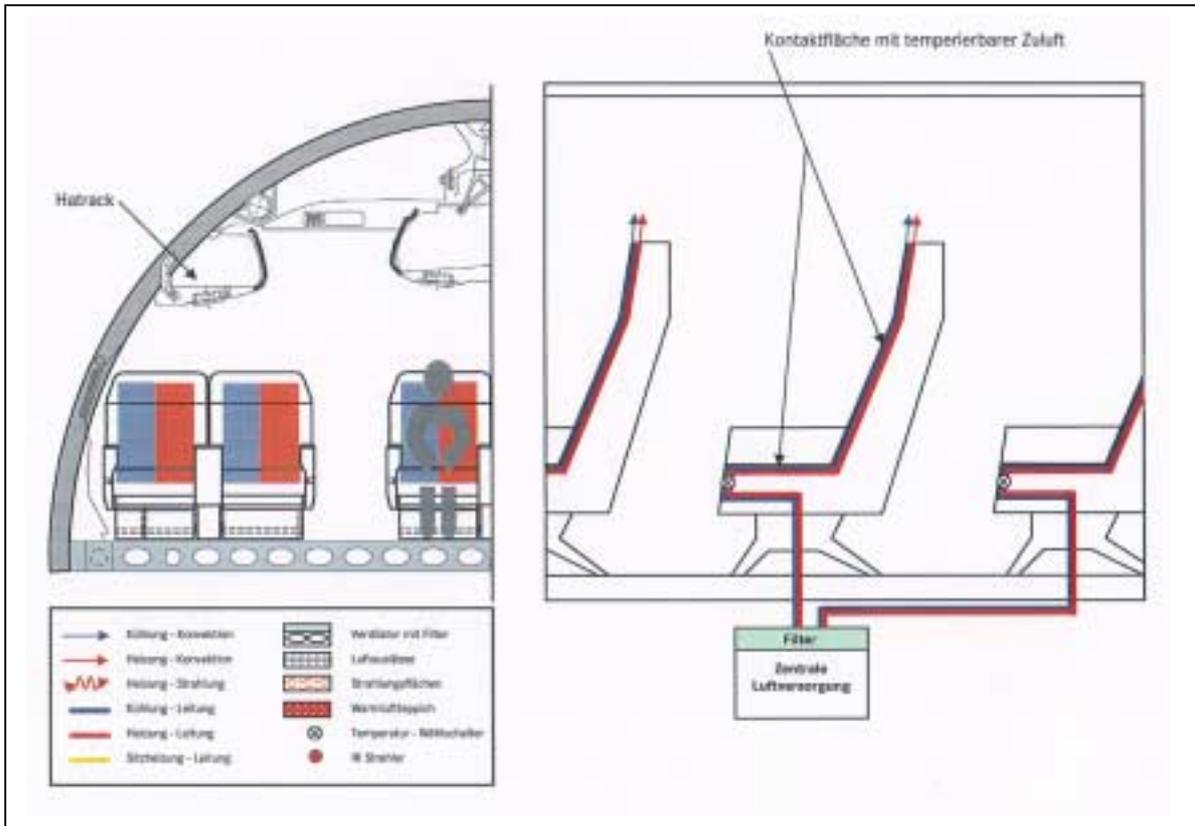


Bild 5.17 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche

Funktion

- Kühlung und Heizung durch temperierbarer Zuluft

Einbauort

- Sitzfläche und Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)

Realisierungsmerkmale

- Sitzfläche wird durch zentrale Luftversorgung mit kalter oder warmer Luft angeblasen
- Kühlung und Heizung des mittleren Körperbereichs (von hinten)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden

- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller; Luftleitungen vom Mixer-Verteilung zu den Sitzen schwer realisierbar durch Platzmangel und schlechte Flexibilität
- großes Gewicht gegenüber anderen Einzelmaßnahmen
- Notwendige Luftmenge zum Kühlen und Heizen (noch unbekannt)
- Bedienung: einfach
- Großer Konstruktionsaufwand (Luftleitungen vom Mixer, Verteilung der Luft in den Sitzen)
- Platzbedarf für spezielle Polsterung/ Rohrleitungen und Bedienelemente

5.4.2 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)

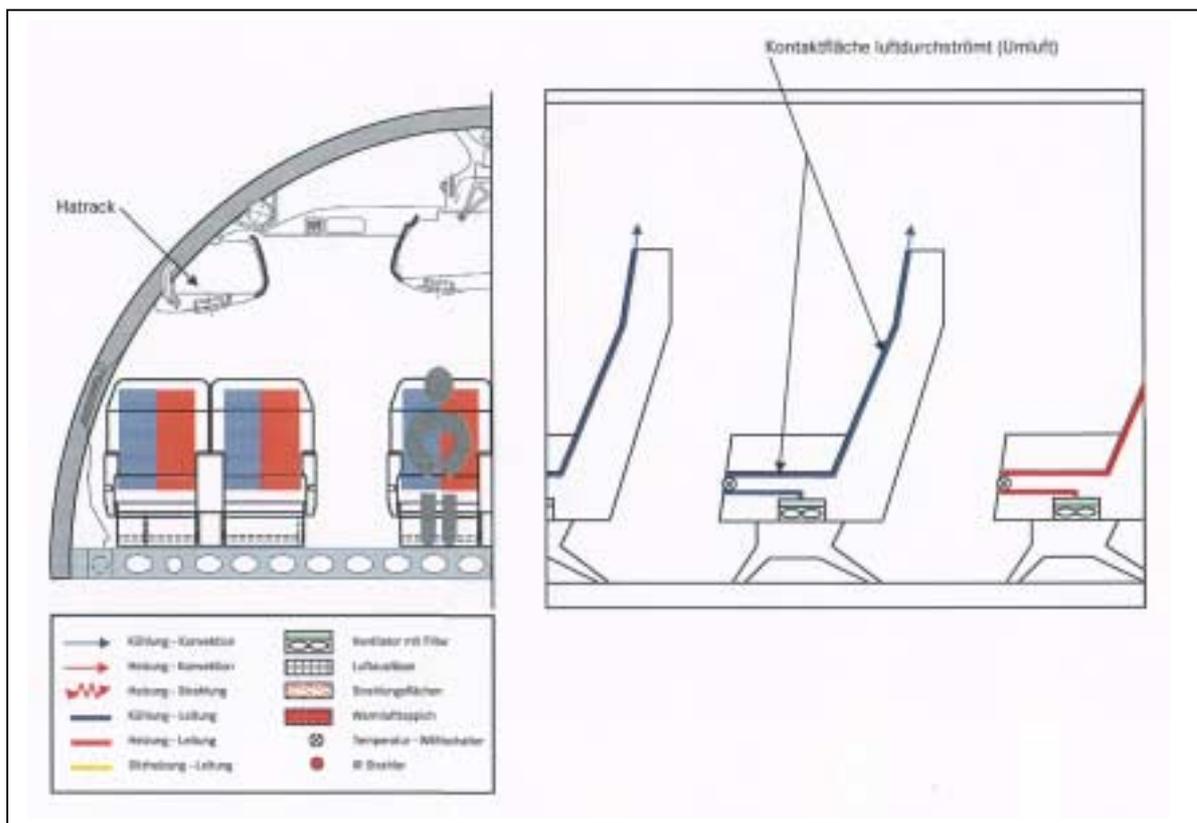


Bild 5.18 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)

Funktion

- Kühlung (evtl. Heizung) durch luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)

Einbauort

- Sitzfläche und Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Steuerung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)

Realisierungsmerkmale

- Eingebauter Ventilator (evtl. mit Heizer) im Sitz
- Sitzfläche wird mit kalter angeblasen
- Kühlung (evtl. Heizung) des mittleren Körperbereichs (von hinten)
- Heiz- und Kühlleistung können individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Konstruktionsaufwand ist klein (Luftleitungen vom Ventilator, Verteilung der Luft in den Sitzen)
- Bedienung: einfach
- Platzbedarf für spezielle Polsterung/ Rohrleitungen und Bedienelemente
- Notwendige Luftmenge zum Kühlen eventuell zum Heizen (noch unbekannt)

5.4.3 Sitzheizung

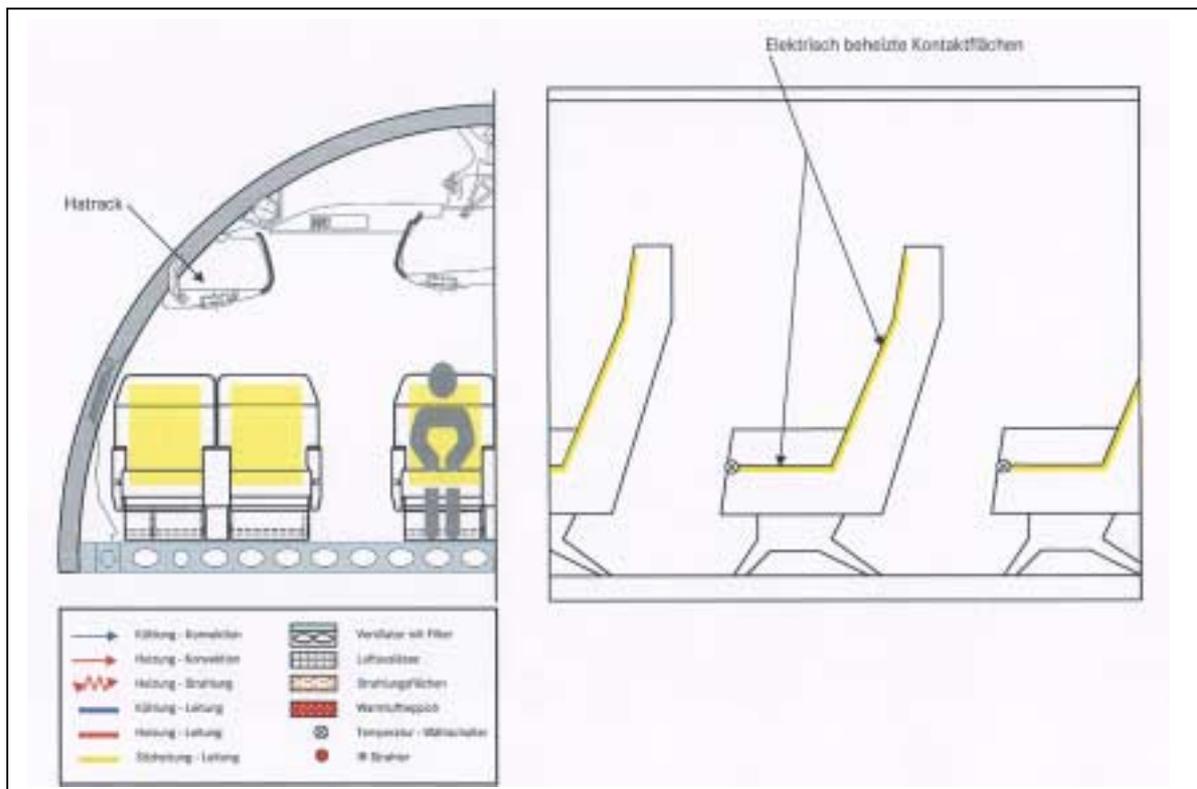


Bild 5.19 Sitzheizung

Funktion

- Sitz mit elektrisch beheizter Kontaktfläche

Einbauort

- Sitzfläche und Rückenlehne

Bedienung/Steuerung

- Bedienung der elektrischer Heizer durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Impulsbreitensteuerung

Realisierungsmerkmale

- Sitzfläche wird mit Heizspiralen beheizt
- Heizung des mittleren Körperbereichs (von hinten)
- Platzbedarf: durch Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein; solange Abmessungen nicht mit Flugzeugforderungen kollidieren, ist alles erlaubt; bessere Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Sitzhersteller
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Bedienung: einfach
- Konstruktionsaufwand ist klein
- Platzbedarf für spezielle Polsterung und Bedienelemente
- Nur Heizung
- Geringes Gewicht
- Notwendige elektrische Leistung (noch unbekannt)
- Flexibel

5.4.4 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer

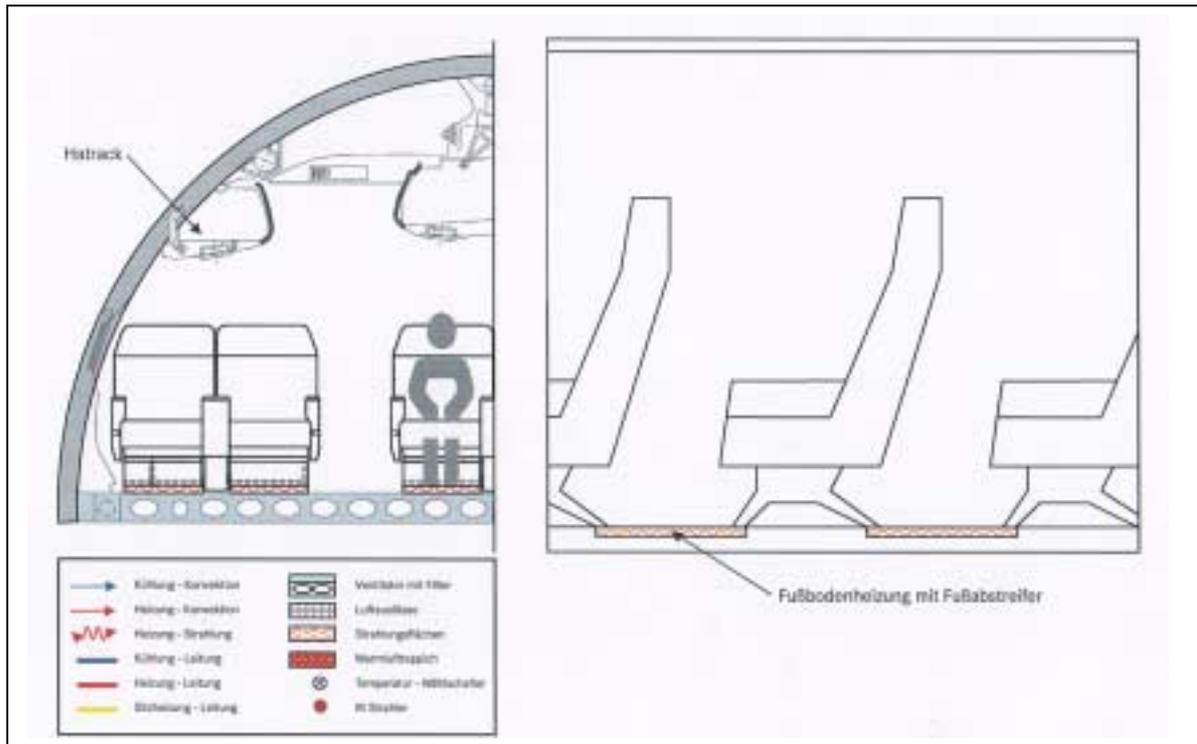


Bild 5.20 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer

Funktion

- Beheizen der Füße mit Fußbodenheizung

Einbauort

- Fußboden (Teppich)

Bedienung/Steuerung

- Elektrisch beheizte Fußabstreifer im Teppich
- Bedienung durch Temp.-Wählschalter oder Knopf (Ein-Aus-Regler bzw. Manuelle-Regler)
- Impulsbreitensteuerung

Realisierungsmerkmale

- Fußboden wird beheizt
- Heizung der Füße (von unten)
- Platzbedarf: vorhanden (Teppich)
- Heizleistung kann individuell am Sitzplatz eingestellt werden
- Bedienung: einfach
- Konstruktionsaufwand ist klein

- Platzbedarf für spezielle Polsterung/Fußabstreifer und Bedienelemente
- Nur Heizung
- Notwendige elektrische Leistung (noch unbekannt)
- Flexibel
- Geringes Gewicht
- Risiko: Brandgefahr

6 Kriterienkatalog zur Bewertung der Einzelmaßnahmen

6.1 Grundsätzliches

Im folgenden wird ein Kriterienkatalog zur Bewertung von Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen aufgezeigt. Nach der oben genannten Vorgehensweise wurde nun ein Kriterienkatalog erstellt. Beim Erstellen des Kriterienkataloges wurden folgende Voraussetzungen möglichst weitgehend erfüllt:

- Die Bewertungskriterien sollen die entscheidungsrelevanten Anforderungen und allgemeinen Bedingungen möglichst vollständig erfassen, damit bei der Bewertung keine wesentlichen Gesichtspunkte unberücksichtigt bleiben.
- Die einzelnen Bewertungskriterien müssen weitgehend unabhängig voneinander sein, d.h., Maßnahmen zur Erhöhung des Wertes einer Variante hinsichtlich eines Kriteriums dürfen die Werte hinsichtlich der anderen Kriterien nicht beeinflussen.
- Die Eigenschaften des zu bewertenden Systems, hier die Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung, in bezug auf die Kriterien sollten bei vertretbarem Aufwand der Informationsbeschaffung möglichst quantitativ, zumindest aber qualitativ (wörtlich) erfassbar sein.

Schließlich wurde durch Beachtung der oben genannten Punkte die Bewertungskriterien aus den folgenden Bereichen gewonnen:

- **Anforderungen der Anforderungsliste**
 - *Festforderungen* (z.B. unabdingbare Forderungen aus Spezifikationen, Richtlinien (**Anhang B.2**), FAR/JAR etc.)
 - *Mindestforderungen; Kundenanforderungen (EADS 1999; Anhang B.1)*
(z.B. Luftgeschwindigkeit = 0,25 m/s; Masse = 97kg etc.)
 - + Anforderungen der Betreiber
 - + Anforderungen der Passagiere an den thermischen Komfort
 - + Anforderungen der Passagiere an das Raumklima
 - + Anforderungen der Passagiere an das individuell einstellbare Klima
 - + Abweichende Anforderungen der Crew
 Siehe **Anhang B Wünsche** (z.B. Wartungsfreundlichkeit, Design; erfüllt – nicht erfüllt, wie gut erfüllt)
- **Allgemeine technische und wirtschaftliche Eigenschaften**
 - *Hersteller- und Verbrauchersichtspunkte* bzw. Wünsche (z.B. Bedienbarkeit, Design, usw.)

Außerdem wurden folgende Maßnahmen beim Aufstellen der Bewertungskriterien beachtet:

- Festforderungen nicht zur Optimierung heranziehen, da eine Konstruktion bei Nichterfüllung dieser Forderungen völlig ungeeignet ist
- Mindestanforderungen benutzen, wenn dessen Mindestwerte überschritten werden
- Kurzbeschreibung der Bewertungskriterien

Beim Aufstellen des Kriterienkataloges wurden Hauptmerkmale zum Bewerten von Konzepten hinsichtlich ihrer Eignung für den Einsatz in Passagierflugzeugen abgeleitet. Nach mehrmaligen Untersuchung und Vergleich zwischen verschiedenen Kriterien wurden dann 11 Hauptmerkmale aufgestellt. Jedes dieser Hauptmerkmale ist mindestens durch ein Bewertungskriterium vertreten. Hierbei wurde die Voraussetzung beachtet, daß hinsichtlich des Gesamtziels die Kriterien unabhängig voneinander sind, damit keine Mehrfachbewertung stattfinden kann.

Hauptmerkmale

Auslegung, Gestaltung, Sicherheit, Ergonomie, Kontrolle, Montage, Gebrauch, Aufwand, Instandhaltung, Recycling und Fertigung des Prototypenbau.

Diese ganzen Maßnahmen sind unbedingt erforderlich, damit von einer einheitlichen Auslegung der Bewertungskriterien ausgegangen wird und keine Mißverständnisse bei der Bewertung auftreten bzw. der Bewertungsprozeß nachvollziehbar bleibt.

Nach der Theorie und aus Erfahrungen darf die Anzahl der Bewertungskriterien in der Konzeptphase nicht zu hoch sein. Zwischen 8 bis 15 Kriterien sind im allgemeinen angemessen. In unserem Fall sind es insgesamt 22 Kriterien, die den Hauptmerkmalen untergeordnet sind. Im ersten Schritt der Bewertung, werden die Einzelmaßnahmen von 15 Bewertungskriterien untersucht. Genaueres hierzu kann **Abschnitt 7** dieser Arbeit entnommen werden.

Demnach werden in den folgenden Kapiteln die einzelnen Hauptmerkmale mit den dazugehörigen Bewertungskriterien dargestellt und mit einer Beschreibung versehen. Dabei werden nur die untersten Punkte erläutert, da für sie eine Bewertung erfolgen muß.

Eine sehr wichtige Rolle spielen bei der Bewertung die Kundenanforderungen und die Festforderungen (Richtlinien). Diese finden sich in zusammengefaßter Form in **Anhang B** dieser Arbeit wieder (**EADS 1999**).

6.2 Kriterienkatalog

Bewertungsrichtlinie

Zusammengefaßte Form der *Hauptmerkmale* und der Bewertungskriterien

1. Auslegung

- Energieverbrauch / -effizienz
- Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko
- Regelungsaufwand
- Lebensdauer

2. Gestaltung

- Größe, Lage
- Raumbedarf, Anpassung
- Gewicht
- Anordnung, Einbauort
- Flexibilität

3. Sicherheit

- Brandverhalten, Brennbarkeit
- Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit
- Störanfälligkeit, Dichtigkeit

4. Ergonomie

- Mensch-Maschine-Beziehung
- Design, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung

5. Kontrolle

- Einsatzreife, Realisierbarkeit

6. Montage

- Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit

7. Gebrauch

- Handhabung, Bedienung
- Betriebsverhalten

8. Aufwand

- Kosten, Termin

9. Instandhaltung

- Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit

10. Recycling

- Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit

11. Fertigung des Prototypenbau

- Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren; Keine aufwendigen Vorrichtungen; Geringe Zahl einfacher Bauteile; Risikolose Bearbeitung

6.2.1 Auslegung

6.2.1.1 Energieverbrauch / -effizienz

Dieses Kriterium soll den Energieverbrauch des Systems im Flugzustand berücksichtigen. Dazu gehören die Heiz-, Kühl- und elektrische Leistung des Systems. Außerdem ist die Energieeffizienz, d.h. die erreichbare Heiz- und Kühlleistung des jeweiligen Systems sehr wichtig.

Daten zu vorhandenen Systemen, die im Passagiersitz integriert sind, können im **Anhang C1.1.1** nachgelesen werden.

Als nächstes werden die neuen Systemkomponenten der Einzelmaßnahmen und ihre Leistungsdaten beschrieben. Da zu gegenwärtigen Zeitpunkt die Entwicklung noch nicht ausgereift war, sind die vorhandenen Daten im **Anhang C1.1.1** zusammengefaßt dargestellt. Bei diesem Kriterium sind auch Werte aus der Anforderungsliste übernommen worden.

6.2.1.2 Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko

Stabilität

Mit Stabilität werden alle Probleme (Einfluß von Störungen) des stabilen Betriebs des individuell klimatisierten Sitzes angesprochen. Das System muß so ausgelegt werden, daß das Verhalten des Systems stabil ist. Das heißt, auftretende Störungen sollten resultierende Wirkungen erzeugen, die der Störung entgegenwirken und sie aufheben oder mindestens mildern.

Zuverlässigkeit

Ein Ausfall des Systems zur individuellen Sitzplatzklimatisierung darf keine Beeinträchtigung der Basisklimatisierung nach sich ziehen (**Airbus 1999a**).

Technisches Risiko

Um risikogerecht zu entwerfen sollten technisches und wirtschaftliches Risiko in Einklang gebracht werden und einerseits einen für den Hersteller nützlichen Gewinn an Erfahrung, andererseits für den Kunden ein zuverlässiger schadensfreier Betrieb des Systems sichergestellt werden.

z.B. Eine vorzeitige Untersuchung der möglichen Fehler beim Entwerfen muß gewährleistet sein. Die Realisierung der Ideen darf nicht später scheitern.

Es werden zum bewerten des Systems folgende Fragen gestellt:

- „Ist der stabile Betrieb des Systems gegeben?“
- „Ist das System zuverlässig?“ - z.B. Beim Ausfall des Systems, keine Beeinträchtigung der Basisklimatisierung
- „Ist das System risikogerecht entworfen worden oder sind verbleibende Risikofaktoren vorhanden?“ - Schadensfreier Betrieb des Systems muß sichergestellt werden.

6.2.1.3 Regelungsaufwand

Das Kriterium *Regelungsaufwand* stellt an das System folgende Fragen:

- Welche Art der Steuerung hat das System? Ein-Aus-Regler; Manuelle-Regler; Manuelle Steuerung
- Die Funktion des Erwärms / Kühlens soll zur Verfügung stehen als Ausgleich eines „zu kalt“- / „zu warm“- Empfindens
- „Ist das auch durch Absenken der globalen Temperatur und individuelles Erwärmen zu erreichen?“

Außerdem ist die Wirkzeit (Totzeit) des Systems wichtig. Es ist die Zeit, die vergeht bis die Anlage ihre Wirkung zeigt.

Ein-Aus-Regler

Das System stellt sich durch Temp.-Sensoren selber ein.

A) mit ZC

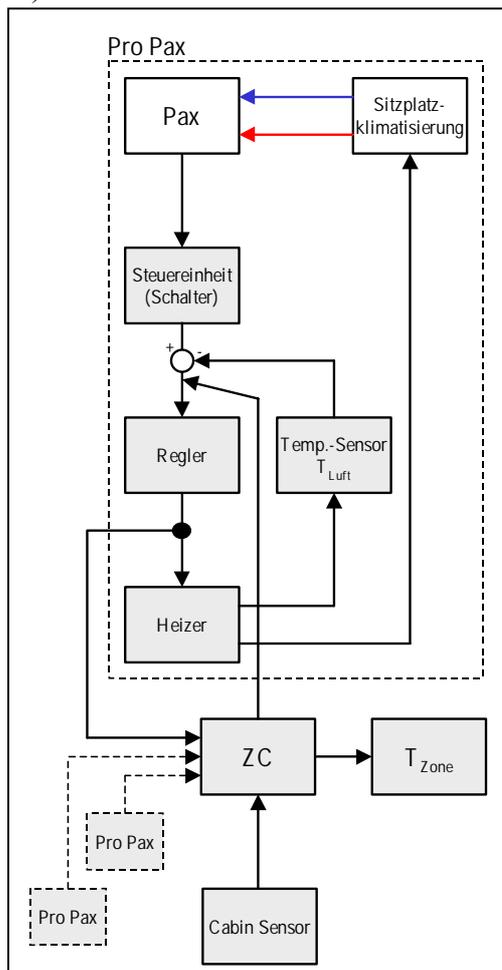


Bild 6.1 A) Ein-Aus-Regler (mit ZC) Funktionsschema

B) ohne ZC

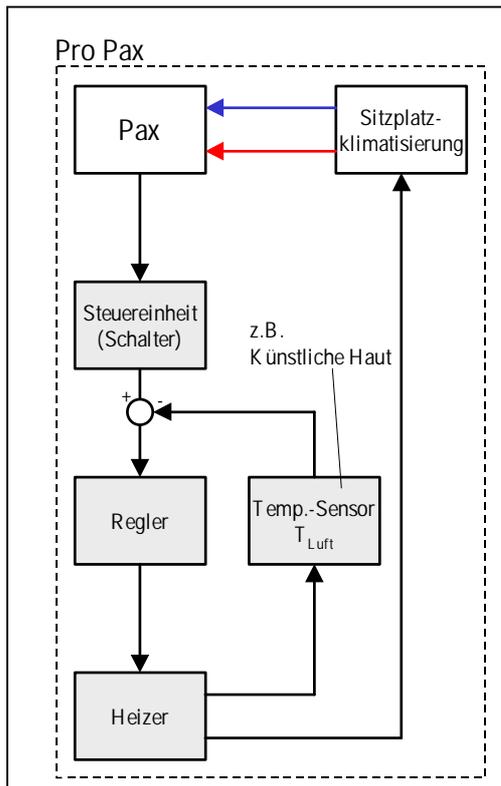


Bild 6.2 B) Ein-Aus-Regler (ohne ZC) Funktionsschema

Manuelle-Regler

Passagier bedient das System selbst durch einen Schalter

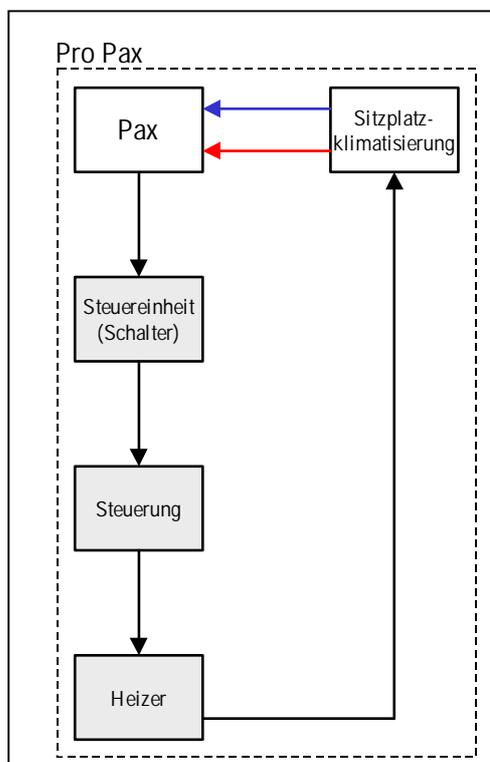


Bild 6.3 B) Manuelle-Regler Funktionsschema

Manuelle Steuerung

Der Passagier kann durch folgende Elemente die Sitzplatzklimatisierung manuell verändern und steuern:

- Individuelle Luftduschen
- Drosselklappen, Regulierklappen, Jalousieklappen
- Servicesäule, schwenkbar

Die Heiz- und Kühlleistung muß an einem Sitzplatz individuell einstellbar sein (EADS 1999)

- Die Funktion des Erwärmens soll zur Verfügung stehen zum Ausgleich eines „zu kalt“ Empfindens
- Die Funktion des Kühlens soll zur Verfügung stehen zum Ausgleich eines „zu warm“ Empfindens
- Kann auch durch Absenken der globalen Temperatur und individuelles Erwärmen bereitgestellt werden

6.2.1.4 Lebensdauer

Die Lebensdauer des System ist durch Richtlinien der internationalen Luftfahrtorganisationen bestimmt. Folgende Richtlinien gelten z.B. für Passagiersitze und sind aus dem Dokument **Airbus 1999a** entnommen worden.

Lebensdauer - Service Life

Die Lebensdauer von einem Sitz ist mit mindestens 80.000 Flugstunden (flight hours - FH) oder mit 20 Jahren (mit Ausnahme von Polsterungen und Stoffe) vorgegeben.

MTBF und MTBUR Zahlen

Die MTBF (Mean time between failures) Zahlen sollten nicht weniger sein als

- 25.000 FH für ein Einzelsitz (single seat)
- 20.000 FH für ein 2er-Sitz (double seat)
- 15.000 FH für ein 3er-Sitz (triple seat)
- 10.000 FH für ein 4er-Sitz (quadruple seat)

Die MTBUR (Mean time between unscheduled removal) Zahlen sollten nicht weniger als 80% der MTBF Zahlen sein.

6.2.2 Gestaltung

6.2.2.1 Größe, Lage

Die Größe und Lage des Systems im Flugzeug sind durch Randbedingungen festgelegt. Man hat eine begrenzte Möglichkeit, die neuen Systeme im Flugzeug unterzubringen. Dieses Kriterium stellt dem Entwicklungsingenieur die folgende Frage: Wie gut erfüllen die Abmaße des Systems die flugzeugseitigen Forderungen?

Hierzu werden im **Anhang C1.2.1 (Airbus 1999a)** einige Standard Dimensionierungen für F/C und B/C-Sitzreihen mit Abmessungen angegeben. Diese sollen auch bei der Gestaltung der individuell klimatisierten Sitze betrachtet werden.

6.2.2.2 Raumbedarf, Anpassung

Die Kriterien *Raubedarf* und *Anpassung* untersuchen den Platzbedarf des Systems

- im Sitz
- am Sitz
- im Flugzeug
 - Hatrack (Kabinendecke)
 - Fußboden
 - Seitenwand

Zum Bewerten des Systems wird die Frage gestellt: „Ist der Platzbedarf des Systems im / am Sitz und im Flugzeug ausreichend?“

Erkenntnisse und Untersuchungen zum Raumbedarf und Anpassung der Konzepte im Flugzeug sind im **Anhang C1.2.2** näher ausgedehildert.

6.2.2.3 Gewicht

Beim Bewerten der Konzepte müssen zu folgenden Systemelementen das Gewicht ermittelt und verglichen werden.

- Struktur (incl. legs - Beinlehne, seat - Sitz, backrest - Rückenlehne, armrest - Armlehnen)
- Polsterung - spezielle Stoffe
- Rohrleitungen
- Ventilatoren
- Heiz- und Kühlelemente
- Bedieneinrichtungen
- Luftduschen / Luftauslässe
- Elektrische und Elektronische Ausrüstung inklusive Kabelsatz
- usw.

Frage zum Bewerten: „Wie groß ist das Gesamtgewicht des Systems pro Passagier?“

Angaben über gemittelte Gewichte von Business- und First Class-Sitzen finden sich im **Anhang C.1.2.3**.

6.2.2.4 Einbauort, Anordnung

Einbauorte

- Hatrack => Kühlung und/oder Heizung des Kopfes (von oben)
- Sitz-Rückenlehne => Kühlung und/oder Heizung des gesamten Körpers (von vorne)
- Sitz-Armlehne => Kühlung und/oder Heizung des mittleren Körperbereichs (von der Seite)
- Sitz-Kopfstütze => Kühlung und/oder Heizung des Kopfes (von Seiten)
- Fußbereich-Vordersitz => Kühlung und/oder Heizung des Fußbereichs (von vorne)
- Fußbereich-eigener Sitz => Heizung des Fußbereichs (von hinten)
- Servicesäule (am Sitz) => Kühlung und/oder Heizung des mittleren Körperbereichs (von der Seite)
- Sitzkontaktfläche => Kühlung und/oder Heizung der Sitzfläche + Rücken (von hinten)
- Fußboden (Teppich) => Heizung des Fußes (von unten)
- Kabine-Seitenwand => Kühlung und/oder Heizung des rechten bzw. linken Körperteils (von der Seite)
- Kabine-Seitenwand-Vorhang (Luftschleier)

Folgende Frage wird beim Kriterium *Einbauort* und *Anordnung* zur Bewertung herangezogen: „Wie gut ist der Einbauort des Systems geeignet oder gewählt worden, um die Anforderungen zu erfüllen?“

6.2.2.5 Flexibilität

„Wie gut kann man das System in unterschiedlichen Konfigurationen und Anordnungen verwenden?“

Das System soll verwendbar sein bei unterschiedlichen Konfigurationen / Anordnungen

- F/C
- B/C
- Flight Deck
- Lounge
- Business Room

Folgende Anforderungen sollten erfüllt werden

- Sitzplatzunabhängigkeit: Für die Montage des Systems sollten dem Kunden Optionsmöglichkeiten (Optionalität) angeboten werden. Um dieses zu steuern sollte man ein Seat Locations Draft erstellen und ein System entwickeln. (z.B. wie die Galley Locations im Flugzeug)
- Das System soll unabhängig von einem bestimmten Flugzeugtyp einsetzbar sein; Verschiedene Flugzeugtypen „Single Aisle oder Twin Aisle“

6.2.3 Sicherheit

6.2.3.1 Brandverhalten, Brennbarkeit

Dieses Kriterium wird bei der Bewertung herangezogen, obwohl eine Konstruktion bei Nichterfüllung dieser Forderungen völlig ungeeignet ist. Es ist eine Festforderung. Bei diesem Kriterium stellen wir uns die Frage: „Wie schwierig ist es bei dem jeweiligen Konzept die Brennbarkeitsanforderungen einzuhalten?“

Aus dem Dokument **Airbus 1999a** sind die Anforderungen übernommen worden, die Sie im **Anhang C.1.3.1** wiederfinden.

6.2.3.2 Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit

Dieses Kriterium wird ebenfalls bei der Bewertung herangezogen, obwohl eine Konstruktion bei Nichterfüllung dieser Forderungen völlig ungeeignet wäre. Es ist auch als eine Festforderung anzusehen. Bei diesem Kriterium stellen wir uns die Frage: „Wie schwierig ist es bei der jeweiligen Einzelmaßnahme oder Konzept, die Crashfähigkeitsanforderungen einzuhalten?“

Außerdem müssen die Forderungen erfüllt werden, die im **Anhang C1.3.2** geschildert sind.

6.2.3.3 Störanfälligkeit, Dichtigkeit

Das System darf nicht die Funktionserfüllung durch funktional unerwünschte Einflüsse von außen auf das System oder den Menschen beeinträchtigen oder erschweren.

Das System muß gut gedichtet werden, wenn Luftleitungen im System benutzt werden. Dichtungen müssen den Fluiddurchsatz durch mechanische Kopplung, durch Druckabbau in Spalten und Labyrinthen oder durch Sperrmedien verhindern oder vermindern.

Ein Ausfall des Systems zur individuellen Klimatisierung darf keine Beeinträchtigung der Basisklimatisierung nach sich ziehen.

6.2.4 Ergonomie

6.2.4.1 Mensch-Maschine-Beziehung, Bedienung

- „Wie gut ist der aktive menschliche Beitrag zur Erfüllung der Aufgabe des Systems?“
- „Wie ist die aktive und passive Betroffenheit im System aus Rückwirkungen und Nebenwirkungen auf den Passagier?“

Folgende ergonomische Gesichtspunkte sind für die Anforderungsliste und für dieses Bewertungskriterium von Bedeutung (**Pahl 1997**):

Aktiver menschlicher Beitrag zur Erfüllung der Aufgabe in einem Wirksystem

- notwendig, erwünscht
- wirksam
- einfach
- schnell
- genau
- zuverlässig
- fehlerfrei
- eindeutig, sinnfällig
- erlernbar

Aktive oder passive Betroffenheit aus Rückwirkungen und Nebenwirkungen auf den Menschen

- erträgliche Beanspruchung
- geringe Ermüdung
- geringe Belästigung
- keine Verletzungsgefahr, sicher
- keine Gesundheitsschädigung, -beeinträchtigung
- Anregung, Abwechslung, Förderung der Aufmerksamkeit, keine Monotonie
- Entfaltungsmöglichkeit

6.2.4.2 Design, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung

Folgende Gesichtspunkte haben Einfluß bei diesem Kriterium (**Pahl 1997**):

Das Aussehen des Systems wird durch folgende Faktoren bestimmt

- Konstruktionsfaktoren: Zweck, Funktion, Baustruktur
- Produktionsfaktoren: Herstell- und Montageverfahren, Wirtschaftlichkeit der Herstellung
- Verkaufs- und Distributionsfaktoren: Verpackung, Transport, Lagerung, Firmenimage
- Gebrauchsfaktoren: Handhabung, ergonomische Gesichtspunkte
- Destruktionsfaktoren: Beseitigung

Markt- und benutzungsorientierte Kennzeichen

- einfach, einheitlich, rein, stilecht
- geordnet, proportioniert, ähnlich
- bezeichnenbar, definierbar

Zweckorientierte Kennzeichen

Diese sollen den Zweck erkenn- und wahrnehmbar machen. Die äußere Form, Farbgebung und Graphik unterstützen die Erkennbarkeit der Funktion, der Stelle der Aktion und ihre Art, z.B. Stelle der Bedienung

Bedienungsorientierte Kennzeichen

- Zentrale und erkennbare Bedienelemente sowie ihre funktionsfähige sinnfällige Anordnung
- Ergonomisch richtige Gestaltung entsprechend dem Aktionsradius von Händen und Beinen
- Kennzeichnung von Griff, Schalt- und Ladeflächen.
- Erkennbarkeit des Betriebszustands
- Verwendung von Sicherheitskennzeichnung und Sicherheitsfarben

6.2.5 Kontrolle

6.2.5.1 Einsatzreife, Realisierbarkeit

Die Gestaltung der Bauteile ist so vorzunehmen, daß ihre geforderten Qualitätseigenschaften auch durch die Fertigung ermöglicht und eingehalten werden können. Dies ist durch entsprechende Kontrollen sicherzustellen. Der Konstrukteur muß durch die Gestaltung helfen, sicherheitsgefährdende Schwachstellen infolge Fertigung zu vermeiden. Das System bzw. die Bauteile müssen realisierbar sein.

Frage: „Ist das System bzw. die Bauteile des Systems realisierbar?“

6.2.6 Montage

6.2.6.1 Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit

Von diesem Kriterium aus soll die Zugänglichkeit, Einstellbarkeit und Nachrüstbarkeit des System untersucht und bewertet werden.

Für den Passagiersitz existierende Anforderungen aus dem Dokument **Airbus 1999a**:

Zugänglichkeit

Die Ausrüstung selbst und Teile von der Ausrüstung, welche die Servicechecks, Anordnung, Verbindung oder Ersatz bestimmen, sollen bequemer zugänglich gemacht werden, ohne daß andere Teile entfernt werden müssen.

Für den Sitz oder befestigte Teile, die nicht durch diese Vorschrift erfüllt sind, ist eine Spaltung zu definieren, die eine geordnete kontrollierte Installation verwirklichen oder entfernen.

Zusätzlich ist der Sitz-Lieferant dafür verantwortlich, eine Installationsbeschreibung der einzelnen Teile auszuliefern (Sitzbahnschutz, Rumpf, etc.), die für die Entfernung der Sitze und oder Befestigung der Sitze nach der Installation benutzt werden kann.

6.2.7 Gebrauch

6.2.7.1 Handhabung, Bedienung

Aus diesem Kriterium ergibt sich für den Entwicklungsingenieur folgende Fragen:

- „Wie einfach ist das System für den Passagier bzw. für die Crew zu bedienen?“
- „Sind Bedieneinrichtungen gut erreichbar?“

Die Anforderungen aus den Anforderungen **EADS 1999** sind folgende:

- Handhabung und Bedienung soll für den Passagier so einfach wie möglich sein
- Handhabung und Bedienung soll für die Crew so einfach wie möglich sein
- Zentrale Beeinflußbarkeit (RESET via CIDS) soll möglich sein
- Bedieneinrichtungen (Schalter etc.) sollen gut erreichbar sein unabhängig vom Sitzplatz: d.h. Sitzabstand, Abstand zum Hatrack etc.
- Kurze Reaktionszeit: Der Passagier soll Änderungen der Einstellung unmittelbar spüren

6.2.7.2 Betriebsverhalten

Eines der wichtigsten Kriterien in unserem Fall ist das Betriebsverhalten des Systems. Es bestehen zur Zeit keine genaueren Angaben über das Betriebsverhalten der Systeme. Während auf der einen Seite die Bewertung für die Einzelmaßnahmen durchgeführt wurde, wurde auf der anderen Seite zeitgleich Stimulationen und Berechnungen von der DaimlerChrysler Forschung durchgeführt, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen waren.

Folgende Fragen werden bei der Bewertung beachtet:

- „Wie gut ist das Betriebsverhalten des Systems erfüllt?“
- „Kann das System die Anforderungen erfüllen und wie gut kann er sie erfüllen?“

Anforderungen aus **EADS 1999** können Sie im **Anhang C.1.7.2** ablesen:

6.2.8 Aufwand

6.2.8.1 Kosten, Termin

Über die Herstellungs- und Betriebskosten kann nur eine qualitative Entscheidung getroffen werden. Zur Zeit gibt es keine Vorstellungen über die möglichen Kosten.

Folgende Fragen werden bei der Bewertung betrachtet:

- „Wie groß sind die Herstellungskosten und die Betriebskosten des Systems?“
- „Wie groß ist der Konstruktionsaufwand des Systems?“

Je größer, desto schlechter die Bewertung.

Kosten

- Herstellungskosten
- Betriebskosten

Ablauf- und terminbestimmende Eigenschaften

- Konstruktionsaufwand

6.2.9 Instandhaltung

6.2.9.1 Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit

Definition des Bewertungszieles (**Pahl 1997**):

Wartung

Maßnahmen zur Bewahrung des Sollzustandes:

Das System soll möglichst wenig Wartungsaufwand verursachen.

Inspektion

Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes.

Instandsetzung

Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes.

Austauschbarkeit

Das System soll unabhängig von einem bestimmten Flugzeugtyp einsetzbar sein.

Prüfbarkeit

Das System soll das Prüfen von Defekten ermöglichen und Fehlermeldungen bzw. Prüfmöglichkeiten bieten. Das System sollte ohne Vorliegen eines Gefahrenzustandes auf seine Funktionsfähigkeit geprüft werden können.

6.2.10 Recycling**6.2.10.1 Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit**

Frage zu diesem Kriterium:

- „Wie gut ist die Recyclingfähigkeit des Systems in Bezug auf die Gestaltungsrichtlinien?“

Bewertungskriterien hinsichtlich Recyclingfähigkeit nach **Pahl 1997**, siehe Anhang **C.1.10.1**.

6.2.11 Fertigung des Prototypenbau

Folgende Punkte müssen bei diesem Bewertungskriterium beachtet werden:

- Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren
- Keine aufwendigen Vorrichtungen
- Geringe Zahl einfacher Bauteile
- Risikolose Bearbeitung

7 Bewertung der Einzelmaßnahmen

7.1 Grundsätzliches

Bevor wir zur eigentlichen Bewertung der Einzelmaßnahmen kommen, wird die gewählte Bewertungsmethode "eindimensionale Nutzwertanalyse" näher betrachtet und vorgestellt.

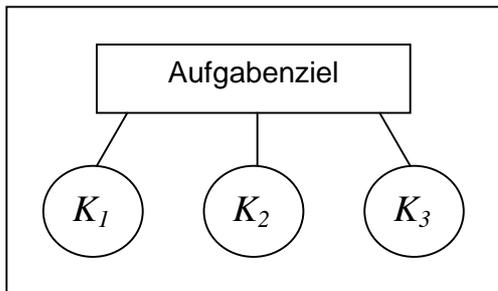


Bild 7.1 Schema eines eindimensionalen Systems

Das Ziel des Verfahrens ist es, die Auswahl des bestgeeigneten Entwurfes in bezug auf die Erfüllung der gestellten Aufgabe, aus 20 Alternativen bzw. Einzelmaßnahmen auszuführen. Das wird bei der "Nutzwertanalyse" durch die Aufstellung und Auswertung der Nutzwertmatrix (Bewertungsmatrix) erreicht (s. **Bild 7.1**).

		K_i						
		BEWERTUNGSKRITERIE						
A_i	K							E R G E B N I
	O							
	N							
	Z							
	E P T							

Bild 7.2 Bewertungsmatrix (Skizze)

Wie funktioniert das Ganze? Die Nutzwertanalyse muß strikt nach den folgenden Punkten durchgeführt werden:

Ausführungsplan der Nutzwertanalyse:

1. Aufstellen und Beschreibung der Bewertungskriterien " K_i "
2. Rangfolge " R_i " der Bewertungskriterien ermitteln
3. Wichtung " W_i " der Bewertungskriterien durchführen
4. Bewertung der Alternativen (Einzelmaßnahmen)
5. Aufstellung und Auswertung der Nutzwertmatrix

Diese oben aufgeführten Punkte werden nun einzeln betrachtet und für unser Problem vorgenommen Änderungen definiert.

1. Aufstellen und Beschreibung der Alternativen und der Bewertungskriterien

a) Alternativen (Einzelmaßnahmen) "A_i"

Das Aufstellen und die Beschreibung der Alternativen ist bei uns in **Abschnitt 5** durchgeführt worden. In **Tabelle 7.1** kann die Nummerierung der jeweiligen Einzelmaßnahmen sehen.

Tabelle 7.1 Liste der Einzelmaßnahmen

1. Einzelmaßnahmen mittels Konvektion
1.1 Größere Luftduschen am Hatrack
1.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)
1.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft
1.4 Servicesäule (Umluft)
1.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft
1.6 Armlehne (Umluft)
1.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft
1.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)
1.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft
2. Einzelmaßnahmen mittels Strahlung
2.1 Strahlungsflächen am Hatrack
2.2 IR Strahler am Hatrack
2.3 IR Strahler an der Rückenlehne
2.4 Fußbodenheizung durch Strahlung unter dem Vordersitz
2.5 Ohrensessel - Strahlungsschirm / Warmluftteppich
2.6 Seitenwand beheizt
2.7 Seitenwand beschichtet
3. Einzelmaßnahmen mittels Wärmeleitung
3.1 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche
3.2 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)
3.3 Sitzheizung
3.4 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer

b) Bewertungskriterien “ K_i “

Die Bewertungskriterien wurden in **Abschnitt 6** aufgestellt und beschrieben. Die zum Aufstellen der Kriterien erforderlichen Maßnahmen kann man dort entnehmen.

Die aufgestellten Bewertungskriterien unter den Hauptmerkmalen sind wie folgt nummeriert:

1. Auslegung

K_1 : Energieverbrauch / -effizienz

K_2 : Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko

K_3 : Regelungsaufwand

K_4 : Lebensdauer

2. Gestaltung

K_5 : Größe, Lage

K_6 : Raumbedarf, Anpassung

K_7 : Gewicht

K_8 : Anordnung, Einbauort

K_9 : Flexibilität

3. Sicherheit

K_{10} : Brandverhalten, Brennbarkeit

K_{11} : Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit

K_{12} : Störanfälligkeit, Dichtigkeit

4. Ergonomie

K_{13} : Mensch-Maschine-Beziehung

K_{14} : Design, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung

5. Kontrolle

K_{15} : Einsatzreife, Realisierbarkeit

6. Montage

K_{16} : Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit

7. Gebrauch

K_{17} : Handhabung, Bedienung

K_{18} : Betriebsverhalten

8. Aufwand

K_{19} : Kosten, Termin

9. Instandhaltung

K_{20} : Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit

10. Recycling

K_{21} : Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit

11. Fertigung des Prototypenbau

K_{22} : Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren; Keine aufwendigen Vorrichtungen; Geringe Zahl einfacher Bauteile; Risikolose Bearbeitung

2. Rangfolge "R_i" der Bewertungskriterien ermitteln

Die Aufstellung einer Rangfolge unter den Bewertungskriterien ergibt sich aus der Überlegung heraus, daß die einzelnen Kriterien im Hinblick auf die Zielerfüllung nicht von gleicher Bedeutung sind. Es kommt immer darauf an, welcher Gesichtspunkt bei der Untersuchung im Vordergrund steht. Wir möchten bei unserer Untersuchung möglichst das aufgestellte Ziel erreichen, z.B. die Verbesserung des thermischen Komforts des einzelnen Passagiers. In diesem Fall müßte das Kriterium "Betriebsverhalten" die höchste Rangordnung bekommen, z.B. würde man ein System untersuchen, wie teuer es ist, würden die Kosten den höchsten Rang erhalten.

Also hängt die Rangfolge der Bewertungskriterien davon ab, in welchem Maße diese zur Erreichung des gestellten Zieles beitragen.

Die Rangfolgeermittlung wird wie im Beispiel **Bild 7.3**, in einer Entscheidungsmatrix entschieden.

Kriterium k	ENTSCHEIDUNG																					Punktzahl	Rangfolge R _i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
k _a	0	1	1	0	0	1																3,0	4
k _b	1						1	1	0	0	0,5											3,5	3
k _c		0					0					1	0	0	0							1	7
k _d			0					0				0				1	0	1				2	5
k _e				1					1				1			0			0,5	1		4,5	2
k _f					1					1				1			1		0,5	1		5,5	1
k _g						0					0,5				1			0		0	0	1,5	6

Bild 7.3 Beispiel einer Entscheidungsmatrix (Kirsch 1978)

Man stellt die Frage, welches der beiden Kriterien die größere Bedeutung in bezug auf die Aufgabenstellung haben. Danach erfolgt die Wertung der Rangfolge nach folgendem Schema:

Das Kriterium mit der größeren Bedeutung erhält die Ziffer → **1**,

das andere die Ziffer → **0** und

die Kriterien mit gleich großer Bedeutung erhalten beide die Ziffer → **0,5**.

In unserem Fall wurden die Ziffern auf ganzzahlige Ziffern umgewandelt (s. **Kapitel 7.2**).

3. Wichtung „ W_i “ der Bewertungskriterien durchführen

Nachdem wir die Rangfolge ermittelt haben, folgt die Bestimmung der Wichtungsfaktoren „ W_i “ der einzelnen Kriterien. Es ist erforderlich, weil sie im Hinblick auf die Zielerfüllung unterschiedlich wichtig sind.

Folgende Punkte sind zu betrachten:

- Dabei muß entschieden werden, wie „wichtig“ das rangniedrigere Kriterium im Verhältnis zum ranghöheren für die Zielerfüllung ist.
- Wichtungsverhältnisse haben einen Wert von 0 – 1
- Für das erstrangige Kriterium wird der Wert (Wichtungsfaktor) $W_1 = 1$ festgelegt
- Wichtungsverhältnisse „ a_i “: z.B. $a_{21} = \frac{W_2}{W_1}$; $a_{32} = \frac{W_3}{W_2}$; $a_{43} = \frac{W_4}{W_3}$ usw.
- Wichtungsfaktoren „ W_i “: z.B. $W_2 = a_{21} \cdot W_1$ (wobei $W_1 = 1$); $W_3 = a_{32} \cdot W_2$; $W_4 = a_{43} \cdot W_3$ usw.

Es ergeben sich somit Wichtungsfaktoren ≤ 1 , die um so kleiner werden, je niedriger der Rang des Kriteriums ist, für das der Wichtungsfaktor gilt (s. **Kapitel 7.2**)

4. Bewerten der Alternativen (Einzelmaßnahmen)

In diesem Schritt wird die Bewertung der verschiedenen Einzelmaßnahmen innerhalb der verschiedenen Bewertungskriterien durchgeführt. Es wird dabei eine Bewertung durchgeführt, in welchem Maße die eine Einzelmaßnahme, im Vergleich zu den anderen, die einzelnen Kriterien erfüllt. Man muß darauf achten, daß für alle Bewertungen, eine gleiche Bewertungsskala (Maßstab) zugrunde gelegt wird. Folgende Bewertungsskalen sind möglich. Zum einen die aus **Tabelle 3.1** oder eine Bewertungsskala von 0 bis 1; „1“ – das beste; „0“ – das schlechteste Ergebnis. Bei der Bewertung der Einzelmaßnahmen wird die Bewertungsskala aus **Tabelle 7.2** benutzt.

Tabelle 7.2 Wertskala für die Bewertung der Einzelmaßnahmen

VDI - Richtlinie 2225	
Punkte	Bedeutung
0	unbefriedigend
1	gerade noch tragbar
2	ausreichend
3	gut
4	sehr gut (ideal)

Je feiner eine Bewertungsskala strukturiert ist, desto schwerer ist eine objektive Bewertung. Deshalb ist eine drei bis fünfstufige Skala als brauchbar anzusehen.

Bei der Bewertung kann man zwischen den „mit Zahlen belegten“ Bewertungskriterien (z.B. Gewicht, Kosten) und „verbal belegbaren“ Kriterien (z.B. Wartbarkeit) unterscheiden. In **Bild 7.4** handelt es sich um einen Auszug aus Vielfalt möglicher Wertfunktionen. Von der jeweiligen Aufgabe bzw. von einzelnen Bewertungskriterien hängt es ab, welche der Funktionen eingesetzt werden können.

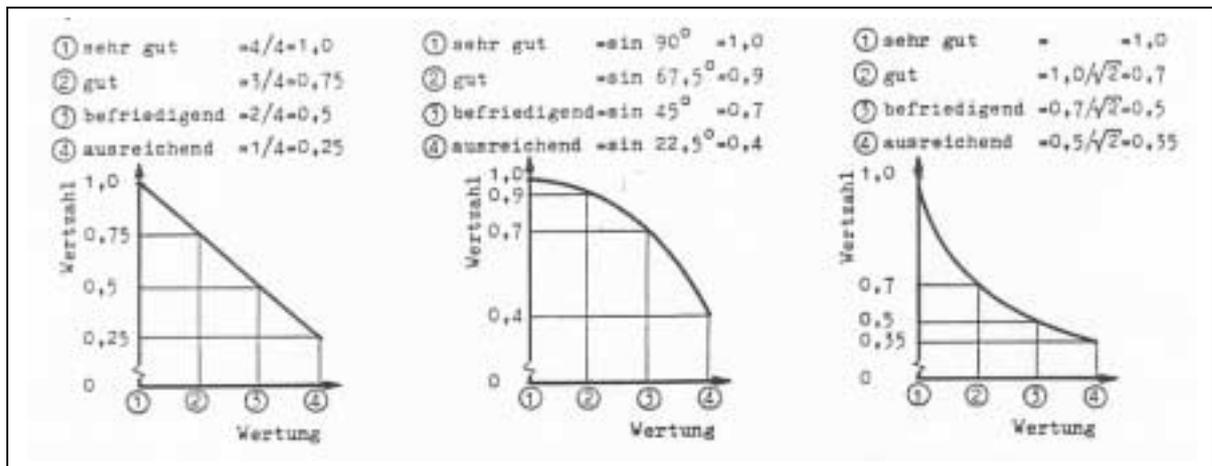


Bild 7.4 Drei beispielhafte Bewertungsskalen als Wertfunktionen (**Kirsch 1978**)

Da wir uns zur Zeit in einem früheren Entwurfstadium befinden, wurden die mit verbal belegten Bewertungskriterien, mit dem Bewertungsskala aus **Tabelle 7.2**, aus Erfahrung und Erkenntnissen, qualitativ beurteilt worden. Nach **Kirsch 1978** kommt man Erfahrungsgemäß trotzdem auf eine einigermaßen objektive Auswahl der Alternativen, die den Aufgabenzielen entsprechen (s. **Kapitel 7.4**).

5. Aufstellen der Nutzwertmatrix

Schließlich wird am Ende des Verfahrens „eindimensionale Nutzwertanalyse“, alle Ergebnisse in einer Matrix zusammengefaßt. Die Bewertungskriterien „ K_i “ werden waagrecht und die zu bewertenden Alternativen „ A_i “ senkrecht aufgetragen. Die in **Tabelle 7.3** vorgestellte Beispiel zeigt z.B. eine Bewertung für 3 Alternativen und 7 Bewertungskriterien. In die einzelnen Elemente der Matrix werden die Wichtungsfaktoren aus der Wichtung der Vergleichskriterien und die Verhältniszahlen aus der Bewertung der Alternativen eingetragen. Die beiden Zahlen werden multipliziert und die sich daraus ergebende Produkt, zeilenweise addiert. Somit erhält man für jede Alternative den sogenannten „Nutzwert“. Die Alternative mit dem höchsten „Nutzwert“, daß ist die größte Zahl, ist mit größter Wahrscheinlichkeit die technisch und wirtschaftlich beste Lösung und ist zur weiteren Ausarbeitung zu empfehlen.

Tabelle 7.3 Beispiel einer Nutzwertmatrix (Bewertungsmatrix)

Alternative	Bewertungskriterien K_i , Wichtigung W_i							Nutzwert Σ	Rangfolge R_N
	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7		
	$W_1 = 1$	$W_2 = 0,9$	$W_3 = 0,72$	$W_4 = 0,5$	$W_5 = 0,43$	$W_6 = 0,39$	$W_7 = 0,35$		
A_1	$0,74 * 1 =$ 0,740	$1 * 0,9 =$ 0,900	$0,5 * 0,72 =$ 0,360	$0,5 * 0,5 =$ 0,250	$0,75 * 0,43 =$ 0,323	$0,5 * 0,39 =$ 0,195	$0,75 * 0,35 =$ 0,263	3,031	2
A_2	$0,83 * 1 =$ 0,830	$0,62 * 0,9 =$ 0,558	$0,75 * 0,72 =$ 0,540	$0,25 * 0,5 =$ 0,125	$0,5 * 0,43 =$ 0,215	$0,5 * 0,39 =$ 0,195	$0,5 * 0,35 =$ 0,175	2,638	3
A_3	$1 * 1 =$ 1,00	$0,72 * 0,9 =$ 0,648	$1 * 0,72 =$ 0,720	$1 * 0,5 =$ 0,500	$1 * 0,43 =$ 0,430	$0,25 * 0,39 =$ 0,098	$0,5 * 0,35 =$ 0,175	3,571	1

Nachdem die Bewertungsmethode vorgestellt wurde, wird im nächsten Kapitel bezüglich der Aufgabe, "Bewertung von Einzelmaßnahmen zur individuellen Sitzplatzklimatisierung in Passagierflugzeugen", die Bewertungsmethode angewandt.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die Details der Bewertungsschritte, wegen dem großen Aufwand, die mit ihm verbunden sind, nicht einzeln präsentiert werden können. Es wurden insgesamt 22 Bewertungskriterien gegenübergestellt und 20 Einzelmaßnahmen bewertet. Dieser großer Aufwand wurde mit Hilfe des Programms "Microsoft Excel 7.0" bewältigt. Die dazugehörigen Tabellenwerke werden in den nächsten Abschnitten dargestellt. Die Durchführung der Bewertung wird Anhand von Beispielen erklärt.

7.2 Entscheidungsmatrix der Bewertungskriterien

Nachdem der erste Schritt der Nutzwertanalyse in Abschnitt 5 und 6 behandelt worden sind, wird in diesem Kapitel der zweite und dritte Schritt des Verfahren bearbeitet.

2. Rangfolge "R_i" der Bewertungskriterien ermitteln

In **Bild 7.5** sieht man die Entscheidungsmatrix. Hier werden nun die Zeilenkriterien "X_i" gegenüber den Spaltenkriterien "Y_i" verglichen. Das Kriterium mit der größeren Bedeutung erhält die Ziffer → 2, das andere die Ziffer → 0 und die Kriterien mit gleich großer Bedeutung erhalten beide die Ziffer → 1. Nachdem insgesamt 231 Entscheidungen getroffen worden sind, werden die Ziffern der jeweiligen Zeile summiert und es ergibt sich für jedes der Kriterien eine Punktzahl.

Entscheidungsmatrix		Spaltenkriterien Y _i																				Punktzahl	Rangfolge			
		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_10	K_11	K_12	K_13	K_14	K_15	K_16	K_17	K_18	K_19	K_20			K_21	K_22	
A	K_1	Energieverbrauch / -effizienz	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	0	2	1	1	1	2	2	2	31,0	2	
	K_2	Stabilität,Zuverlässigkeit,Techn. Risiko	0	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	2	1	1	2	2	24,0	9	
	K_3	Regelungsaufwand	0	1	2	1	0	1	1	1	0	0	1	1	2	0	2	1	1	1	1	2	2	21,0	13	
	K_4	Lebensdauer	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	1	11,0	20	
B	K_5	Größe, Lage	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	0	1	2	2	1	20,0	14	
	K_6	Raumbedarf, Anpassung	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	30,0	3	
	K_7	Gewicht	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	0	2	1	1	1	1	1	2	2	1	25,0	8	
	K_8	Einbautort, Anordnung	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23,0	11	
C	K_9	Flexibilität	0	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	19,0	15	
	K_10	Brandverhalten - Brennbarkeit	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	28,0	5	
	K_11	Crash-Sicherheit	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	28,0	5	
	K_12	Störanfälligkeit, Dichtigkeit	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	2	0	1	0	0	1	1	2	13,0	18	
D	K_13	Mensch-Maschine-Beziehung	0	1	1	2	1	0	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	1	1	2	22,0	12	
	K_14	Design,Ästhet. Gesichtspunkte, Formgebung	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	1	4,0	22	
E	K_15	Einsatzreife, Realisierbarkeit	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	0	1	2	2	1	29,0	4	
F	K_16	Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	0	1	0	2	1	2	1	0	1	1	2	18,0	16	
G	K_17	Handhabung, Bedienung	1	1	1	2	1	0	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	26,0	7	
	K_18	Betriebsverhalten	1	0	1	2	1	0	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	32,0	1	
H	K_19	Aufwand, Kosten, Termin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	24,0	9
I	K_20	Wartung,Inspekt.,Instandsetz.,Austauschb.,Prüfbarkeit	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	2	0	1	0	0	1	2	1	14,0	17	
J	K_21	Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	2	0	1	0	0	1	0	0	0	8,0	21	
K	K_22	Fertigung des Prototypenbaus	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	2	12,0	19	

A Auslegung

E Kontrolle

I Instandhaltung

B Gestaltung

F Montage

J Recycling

C Sicherheit

G Gebrauch

K Fertigung des Prototypenbaus

D Ergonomie

H Aufwand

Bild 7.5 Entscheidungsmatrix

Entscheidungsziffer 0: → bedeutet Kriterium "X_i" unwichtiger als Kriterium "Y_i"

Entscheidungsziffer 1: → bedeutet Kriterium "X_i" und Kriterium "Y_i" gleich wichtig

Entscheidungsziffer 2: → bedeutet Kriterium "X_i" wichtiger als Kriterium "Y_i"

Das Kriterium mit der höchsten Punktzahl bekommt auch den höchsten Rang, die zweitgrößte Punktzahl den zweiten Rang, usw. . Das sich daraus ergebende Ergebnis wird in **Tabelle 7.4**

zusammengefaßt. Man kann jetzt genau sehen, welches Kriterium den höchsten und welches den niedrigsten Rang hat.

Tabelle 7.4 Rangfolge und Wichtung der Bewertungskriterien

Zeilenkriterien X_i			Punktzahl	Rangfolge	Rangfolge	Wichtungsverhältnisse a_{ij}
G	K_19	Betriebsverhalten	32,0	1	1	1,000
A	K_1	Energieverbrauch / -effizienz	31,0	2	2	0,969
B	K_6	Raumbedarf, Anpassung	30,0	3	3	0,938
E	K_16	Einsatzreife, Realisierbarkeit	29,0	4	4	0,906
C	K_11	Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit	28,0	5	5	0,875
C	K_10	Brandverhalten, Brennbarkeit	28,0	5	6	0,875
G	K_18	Handhabung, Bedienung	26,0	7	7	0,813
B	K_7	Gewicht	25,0	8	8	0,781
A	K_2	Stabilität, Zuverlässigkeit, Techn. Risiko	24,0	9	9	0,750
H	K_20	Aufwand, Kosten, Termin	24,0	9	10	0,750
B	K_8	Einbauort, Anordnung	23,0	11	11	0,719
D	K_14	Mensch-Maschine-Beziehung	22,0	12	12	0,688
A	K_3	Regelungsaufwand	21,0	13	13	0,656
B	K_5	Größe, Lage	20,0	14	14	0,625
B	K_9	Flexibilität, Einsetzbarkeit	19,0	15	15	0,594
F	K_17	Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit	18,0	16	16	0,563
I	K_21	Wartung, Inspekt., Instandsetz., Austauschb., Prüfbarkeit	14,0	17	17	0,438
C	K_12	Störanfälligkeit, Dichtigkeit	13,0	18	18	0,406
K	K_23	Fertigung des Prototypenbaus	12,0	19	19	0,375
A	K_4	Lebensdauer	11,0	20	20	0,344
J	K_22	Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit	8,0	21	21	0,250
D	K_15	Design, Ästhet. Gesichtspunkte, Formgebung	4,0	22	22	0,125
Summe:			462,0		Summe:	14,438

3. Wichtung "W_i" der Bewertungskriterien durchführen

Wichtungsverhältnisse "a_i"

$$a_i = \frac{\left(\frac{10}{P_{K19}} \cdot P_i \right)}{10} \quad (9)$$

Am Beispiel:

- Betriebsverhalten: $a_{10} = \frac{\left(\frac{10}{P_{K19}} \cdot P_{K19} \right)}{10} = 1,000$
- Energieverbrauch/ -effizienz: $a_{21} = \frac{\left(\frac{10}{P_{K19}} \cdot P_{K1} \right)}{10} = \frac{\left(\frac{10}{32,0} \cdot 31,0 \right)}{10} = 0,969$

usw.

Somit wurden alle Wichtungsverhältnisse nach dem aufgeführten Beispiel berechnet.

Wichtungsfaktoren (absolut) "W_{i,a}"

$$W_{i,a} = W_{i,a-1} \cdot a_i \quad (10)$$

Wichtungsfaktoren (normiert) "W_{i,n}"

Zuerst wird die Summe aller absoluten Wichtungsfaktoren gebildet.

$$\sum_{i=1}^n W_{i,a} \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^n W_{i,a} = \underline{\underline{6,9361}}$$

$$W_{i,n} = \frac{W_{i,a}}{\sum_{i=1}^n W_{i,a}} \cdot \text{Normierungsfaktor} \quad (12)$$

In unserem Fall wird der **Normierungsfaktor = 10** angenommen. Das wird deshalb gemacht, damit am Ende unserer Berechnungen ein brauchbares Ergebnis herauskommt. Aus der Summe der Teilnutzwerte würden sich sehr kleine Zahlen ergeben.

Am Beispiel:

- Betriebsverhalten: $W_{1,a} = 1,000$
 $W_{1,n} = \frac{W_{1,a}}{6,9361} \cdot 10 = 1,442$

- Energieverbrauch/ -effizienz: $W_{2,a} = W_{1,a} \cdot a_{21} = 0,969$

$$W_{2,n} = \frac{W_{2,a}}{6,9361} \cdot 10 = \frac{0,969}{6,9361} \cdot 10 = 1,397$$

usw.

Schließlich wird das bei allen Kriterien durchgeführt. Zum diesen Zeitpunkt sind alle Bewertungskriterien behandelt und die jeweiligen Faktoren ausgerechnet worden. Im nächsten Kapitel wird nun die Bewertungsmatrix ausgefüllt.

7.3 Bewertungsmatrix

In diesem vorletzten Kapitel des Abschnitts wird die Vorauswahl geeigneter Einzelmaßnahmen getroffen. Bevor die Bewertungsmatrix vorgestellt wird, müssen einige grundlegende Vorkehrungen und Entscheidungen erläutert werden.

Es wurden folgende grundlegende Entscheidungen getroffen.

Die Bewertung wurde nur bei den Kriterien der Rangfolge 2 bis 15 durchgeführt. Das Kriterium "Betriebsverhalten", welches den Rang eins in der Matrix hat, wird im späterem Stadium, wenn die Simulationsberechnungen vorbei sind, mit in die Bewertung eingehen. Es ist schließlich sinnvoll gewesen, die Ergebnisse abzuwarten, um den Betriebsverhalten der Einzelmaßnahmen genauer zu untersuchen und um eine sichere Beurteilung abzugeben. Die Bewertungskriterien 16 bis 22 wurden zuerst noch nicht mit in die Bewertungen einbezogen,

weil sie zum einen, in der ersten Stufe der Bewertungen noch keinen großen Einfluß haben und weil sie die Vorauswahl der Einzelmaßnahmen noch nicht so groß beeinflussen können. Zum anderen haben sie, durch die Rangfolge bedingt, sehr geringe Wichtungsverhältnisse. Diese Tatsache würde bei der Bewertung keine große Änderungen mit sich bringen.

Es wurden 2 Bewertungsmatrizen aufgebaut und eine Bewertung durchgeführt. In anderen Worten, man hat die Einzelmaßnahmen in 2 Kategorien geordnet. Erstens, die system- und einbautechnische Bewertung für den First Class Sitz und zweitens, die system- und einbautechnische Bewertung für den Business Class Sitz. Schließlich konnte man in beiden Sitzkategorien eine Unterscheidung bei den Kriterien,

- Raumbedarf, Anpassung,
 - Einsatzreife, Realisierbarkeit,
 - Handhabung, Bedienung,
 - Einbauort, Anordnung,
 - Mensch-Maschine-Beziehung,
- feststellen.

Für diese Kriterien wurden jeweils, von der Einzelmaßnahme abhängig, zwei Bewertungen abgegeben. Beide Bewertungen, die durchgeführt worden sind, befinden sich zur Veranschaulichung im **Anhang C.2** wieder.

Nun wird der vierte Schritt der Bewertungsverfahren näher erläutert.

4. Bewertung der Alternativen (Einzelmaßnahmen)

Die Einzelmaßnahmen werden nach der in **Tabelle 7.2** dargestellten Skala bewertet.

- | | | |
|----------|---|-----------------------------|
| 0 Punkte | → | unbefriedigende Lösung |
| 1 Punkt | → | gerade noch tragbare Lösung |
| 2 Punkte | → | ausreichende Lösung |
| 3 Punkte | → | gute Lösung |
| 4 Punkte | → | sehr gute (ideale) Lösung |

Man kann die Bewertungen direkt in die Matrix eintragen. Die hellblau unterlegten Felder sollen die Eingabefelder verdeutlichen.

In diesem Schritt, der eines der aufwendigsten war, sind insgesamt für beide Kategorien 315 Bewertungen abgegeben worden.

Bewertung “ B_{ij} “

$$B_{ij} = 0 \dots 4$$

(13)

Teilnutzwerte “ T_{ij} “

$$T_{ij} = B_{ij} \cdot W_{i,n} \quad (14)$$

Am Beispiel (Einzelmaßnahme 1.1):

- Energieverbrauch/ -effizienz: $B_{2,1.1} = 3$
 $T_{2,1.1} = B_{2,1.1} \cdot W_{2,n} = 3 \cdot 1,397 = 4,191$
- Raumbedarf: $B_{3,1.1} = 4$
 $T_{3,1.1} = B_{3,1.1} \cdot W_{3,n} = 4 \cdot 1,310 = 5,240$

usw.

5. Aufstellung und Auswertung der Nutzwertmatrix

Nachdem die Bewertungen abgegeben und die Teilnutzwerte berechnet wurden, liefert das Bewertungsmatrix die Ergebnisse. Es wird für jeden der Einzelmaßnahmen ein Gesamtnutzwert ausgerechnet. Dies geschieht in dem man die Teilnutzwerte über die Zeile hinweg summiert.

Gesamtnutzwerte “ G_j “

$$G_j = \sum_{i=1,j}^n T_{ij} \quad (15)$$

Am Beispiel:

- Einzelmaßnahme 1.1 $G_{1,1} = 29,48$
- Einzelmaßnahme 1.3 $G_{1,3} = 13,20$

usw.

Die Einzelmaßnahme mit dem höchsten “Gesamtnutzwert“, das ist die größte Zahl, bekommt den Rang eins und ist mit größter Wahrscheinlichkeit eine gute technische Lösung, die zur weiteren Ausarbeitung zu empfehlen ist.

Die durchgeführten Bewertungen sind im **Anhang C.2.1** und **C.2.2** zu betrachten. Schließlich folgt im nächsten Kapitel die Diskussion der Ergebnisse.

Einzelmaßnahmenbewertung für B/C

Einzelmaßnahmen	Kriterien	Bewertungskriterien	Summe		
				Nutzwert	Rangfolge
			Rang		
		Wichtungsfaktor (absolut)	6,9361		
		Wichtungsverhältnisse			
		Wichtungsfaktor (normiert)	10		
		Normierungsfaktor	10		
1.1		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	29,48	3
1.2		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	20,31	11
1.3		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	11,67	18
1.4		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	19,75	12
1.5		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	11,35	19
1.6		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	19,45	14
1.7		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	11,04	20
1.8		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	20,38	10
1.9		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	11,97	17
2.1		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	28,43	4
2.2		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	24,00	7
2.3		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	18,54	15
2.4		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	25,00	6
2.5		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	19,62	13
2.6		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	22,30	8
2.7		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	27,15	5
3.1		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	12,94	16
3.2		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	21,58	9
3.3		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	32,06	1
3.4		Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	31,10	2

Bild 7.7 Einzelmaßnahmenbewertung (B/C)

In **Tabelle 7.5** werden dann die Einzelmaßnahmen nach der Rangfolge eingeordnet. Man kann in dieser Tabelle die Änderungen der Rangplätze zwischen der F/C und B/C Untersuchungen ganz deutlich sehen. Bis Rangplatz 6 sind die Einzelmaßnahmen in der Platzierung gleich geblieben. Danach kommen, wie aus **Bild 7.5** zu entnehmen ist, einige Änderungen vor.

Tabelle 7.5 Bewertungsergebnisse nach Rangfolge sortiert

Rang	Einzelmaßnahmen (F/C)	Einzelmaßnahmen (B/C)
1	3.3 Sitzheizung	3.3 Sitzheizung
2	3.4 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer	3.4 Fußbodenheizung durch Fußabstreifer
3	1.1 Größere Luftduschen am Hatrack	1.1 Größere Luftduschen am Hatrack
4	2.1 Strahlungsflächen am Hatrack	2.1 Strahlungsflächen am Hatrack
5	2.7 Seitenwand beschichtet	2.7 Seitenwand beschichtet
6	2.4 Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz	2.4 Fußbodenheizung durch Strahlungsflächen unter dem Vordersitz
7	3.2 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)	2.2 IR Strahler am Hatrack
8	2.2 IR Strahler am Hatrack	2.6 Seitenwand beheizt
9	1.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)	3.2 Sitz mit luftdurchströmter Kontaktfläche (Umluft)
10	2.6 Seitenwand beheizt	1.8 Heizung des Fußraumes (Umluft)
11	1.4 Servicesäule (Umluft)	1.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)
12	1.6 Armlehne (Umluft)	1.4 Servicesäule (Umluft)
13	2.5 Ohrensessel –Strahlungsschirm /Warmluftteppich	2.5 Ohrensessel –Strahlungsschirm /Warmluftteppich
14	1.2 Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)	1.6 Armlehne (Umluft)
15	2.3 IR Strahler an der Rückenlehne	2.3 IR Strahler an der Rückenlehne
16	3.1 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche	3.1 Sitz mit temperierbarer Zuluft für Kontaktfläche
17	1.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft	1.9 Heizung des Fußraumes mit temperierbarer Zuluft
18	1.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft	1.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft
19	1.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft	1.5 Servicesäule mit temperierbarer Zuluft
20	1.3 Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft	1.7 Armlehne mit temperierbarer Zuluft

Aus dieser Bewertung, die mittels 14 Kriterienpunkten durchgeführt worden ist, wurde ein vorläufiges Ergebnis aufgestellt. Vorläufig deshalb, weil noch durch die Bewertung des letzten Kriteriums "Betriebsverhalten" (Rangplatz 1) wichtige Erkenntnisse in die Bewertung mit einfließen werden. Eine sichere Aussage über das Betriebsverhalten konnte zum Zeitpunkt der Bewertungen noch nicht gemacht werden. Wie auch in **Kapitel 4.2** gesagt wurde, werden alle Schritte des Grundmodells nach dem Planungsprozeß, mehrmals durchlaufen, um am Ende des Prozesses ein sicheres, funktionsfähiges und für den Einsatz in Passagierflugzeugen geeignetes System zu bekommen. Die in dieser Arbeit vorgestellte Bewertung, zeigt den ersten Schritt eines solchen Analyseverfahrens. Die Stufe 1 des Modells wurde zum erstenmal durchlaufen.

Natürlich haben auch die jetzt ermittelten Ergebnisse eine große Aussagekraft. Man kann aus den jetzigen Untersuchungen eine wegweisende Aussage über die Einzelmaßnahmen treffen, die sinnvoll erscheinen, weiter untersucht und entwickelt zu werden. Zum Abschluß des Kapitels werden die Aussagen kurz aufgezählt.

1. Die Einzelmaßnahmen, die einen großen Nutzwert aufweisen, sollen in Zukunft detaillierter untersucht werden,
2. In den ersten 10 Plätzen der Rangfolge kommen Einzelmaßnahmen mit allen drei Wirkprinzipien vor. Darüber kann man die Aussage machen, daß die Kombination der Einzelmaßnahmen mit verschiedenen Wirkprinzipien weiterhin zu untersuchen sind.
3. Die Einzelmaßnahmen, die mittels temperierbarer Zuluft versorgt werden haben bei dieser Bewertung sehr schlecht abgeschlossen. Es könnten sich in Zukunft, einbautechnische Probleme ergeben.
4. Die im Sitz installierten Einzelmaßnahmen, außer der, die mit temperierbarer Zuluft versorgt werden, sind sehr flexibel und bieten dem Airliner und dem Hersteller einen großen Freiraum an Optionsfähigkeit.
5. Die ersten sechs Einzelmaßnahmen in der **Tabelle 7.5** geben einen sicheren Eindruck, um später in ein Konzept umgewandelt zu werden. Die Kombination dieser Maßnahmen ist einbautechnisch möglich. Wobei die Frage bezüglich des Betriebsverhaltens noch offen ist. Erst nach Abschluß der Simulationen werden wir über das Betriebsverhalten näheres Wissen.
6. Einzelmaßnahmen, die im Sitz installiert werden, haben bei der First Class Betrachtung bessere Chancen um verwirklicht zu werden, weil sie einen ausreichenden Platz an Raumbedarf anbieten als die Business Class Sitze.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Nach umfangreichen Untersuchungen ist zum Abschluß dieser Arbeit zu sagen, daß die neu erbrachten Erkenntnisse, uns und das Entwicklungsteam, bei der Entwicklung der individuellen Sitzplatzklimatisierung weitergebracht haben.

Nachdem in Abschnitt 3 Bewertungsverfahren untersucht und recherchiert worden sind, wurde in Abschnitt 4 ein Modell zur Entwicklung des individuell klimatisierten Sitzes aufgestellt. Ein Teil dieses Modells wurde in dieser Arbeit in zusammengefasster Form verarbeitet. Diese methodische Vorgehensweise soll auch in der späteren Entwicklungsphase berücksichtigt werden. Die Verarbeitung der Stufe 2 dieses Modells ist in naher Zukunft geplant. Wie man sieht, ist dieser Prozessablauf ein sehr langdauernder Schritt, wenn es sich um neue und überhaupt nicht untersuchte Projekte handelt.

Anschließend wurden die überlegten Einzelmaßnahmen in Abschnitt 5 systematisch nähergebracht. Die Funktion, der Einbauort, Bedienungs- und Steuerungsart und die Realisierungsmerkmale jedes einzelnen Einzelmaßnahme wurde vorgestellt.

In Abschnitt 6 folgte dann der Aufbau und Definition eines Kriterienkataloges, die schließlich zur Bewertung der individuellen Sitzplatzklimatisierungskonzepte herangezogen wurde.

Zum Abschluß der Arbeit wird dann die Bewertung, anhand des ausgewählten Bewertungsmethode "eindimensionale Nutzwertanalyse" durchgeführt. Die Bewertungsergebnisse sind für die weiterlaufenden Entwicklungsprozesse der Entwürfe sehr hilfreich gewesen.

Wie auch am Anfang der Arbeit erwähnt, werden die Entwicklungen im Rahmen eines Luftforschungsprogramms durchgeführt. Die Erfolgsaussichten aus wissenschaftlicher und technischer Sicht des Programms sehen sehr erfolgsversprechend aus. In diesem Projekt hat z.B. die EADS Airbus, die Aufgabe der Integration ins Flugzeug, die Ausrüstungsindustrie, die Aufgabe der Bereitstellung von Systemen und die Wissenschaft, die Erstellung von theoretischen Ansätzen und Modellen.

Die hier geplanten Sitzplatzklimatisierungssysteme sollen nach Projektende und nach durchlaufener Entwicklung für den Megaliner A3XX nutzbar gemacht werden. Generell sollen die Systeme in die Kabinen der gesamten Airbus-Familie einfließen.

Literaturverzeichnis

- Airbus 1999a** AIRBUS INDUSTRIE: *Technical Specification : Passenger Seats Installation : Frame Specification (A330 & A340)*. Hamburg : EADS Airbus GmbH, 1999 (No. 2520 M1F 0100 00, Issue 5)
- Airbus 1999b** AIRBUS INDUSTRIE: *Technical Specification : Hatrack : Frame Specification (A330 & A340)*. Hamburg : EADS Airbus GmbH, 1999 (No. TS 2525 M1F 0001 00, Issue 3)
- Ametek** AMETEK ROSTRON TECHNICAL MOTOR DIVISION: *Rostron Custom Airmovers – MIL Grade Fans and Blowers*. Forstern : Ametek Precisions Instruments Europe GmbH, 1999
- Antares** URL: <http://www.hybridraketen.de/Antares/nutzwert.htm> (07-08-2000)
- B/E Aerospace** URL: <http://www.beaerospace.com> (07-08-2000)
- Blanck 2000** BLANCK, Andreas: Raumbedarf in Sitzen : persönliche Mitteilung. EADS Airbus GmbH Hamburg, Abt. ETH, 15-08-2000
- Damke 1995** DAMKE, Stefan; PFISTER, Hans-R.; JUNGERMANN, Helmut: *WinGhost : Ein interaktives Computerprogramm zur Strukturierung von Zielen und Bewertung von Alternativen*. In: WILLUMEIT, H.-P.; KOLREP, H. (Hrsg.): *Verlässlichkeit von Mensch-Maschine-Systemen : 1.Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin, TU Berlin, 1995, S.305-308 – URL: http://www.zmms.tu-berlin.de/publikationen/#Punkt_3 (15-08-2000)
- Dechow 1994** DECHOW, Martin; Daimler Benz Aerospace Airbus, Abt. EZ 32: *Technologie-Workshop „Klimatisierung - Technologien und Behaglichkeit“ : Klimatisierung Flugzeug*. Hamburg : Daimler Benz Aerospace Airbus GmbH, 1994
- Dechow 2000** DECHOW, Martin; EADS Airbus GmbH, Abt. ESD4: *Safe and Comfortable Cabin Environment (Human Factors considerations)*. Hamburg : EADS Airbus GmbH, 2000
- DIN 1946** Norm DIN 1946 Teil 1 Oktober 1988. *Raumlufttechnik : Terminologie und graphische Symbole*

- DIN 1946-2** Norm DIN 1946 Teil 2 Januar 1994. *Raumlufttechnik*
- DIN ISO 7730** Norm DIN EN ISO 7730 September 1995. *Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit*
- Dubbel 1997** BEITZ, Wolfgang (Hrsg.); GROTE, Karl-Heinrich (Hrsg.): *DUBBEL : Taschenbuch für den Maschinenbau*. 19. Aufl. Berlin : Springer, 1997
- EADS Homepage** URL: <http://www.dasa.de>
- EADS 1999** EADS AIRBUS: *System Requirements Document : Individueller Komfort am Sitz*. Hamburg : EADS Airbus GmbH, 1999 (SRD 2520-1.1.1 DZ-Issue A)
- Eisenführ 1993** EISENSFÜHR, Franz; WEBER, Martin: *Rationales Entscheiden*. Berlin : Springer, 1993
- Erkrath 1984** ERKRATH, Günter D.: *Konstruktionstechnik-Maschinenelemente, VDI Reihe 1, Nr. 113 : Die sicherheitstechnische Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen : Ein Beitrag zur Methodologie und Verfahrensweise*. Düsseldorf : VDI, 1984
- Fanger 1970** FANGER, P. Ole: *Thermal Comfort*. Copenhagen: 1970
- Fanger 1988** FANGER, P. Ole: Air Turbulence and Sensation of Draught. In: *Energy and Buildings*, (1988), 12, S.21-39
- Faust 1994** FAUST, Eberhard; Daimler Benz AG, Abt. EP/AIS: *Technologie-Workshop „Klimatisierung - Technologien und Behaglichkeit“ : Sitzklima-Komfort*. Sindelfingen : Daimler Benz AG, 1994
- FAR 25** U.S. DEPARTMENT FOR TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: *Federal Aviation Regulations, Part 25, Transport Category Airplanes*
- Fournier 1998** FOURNIER, Stefan: *Softwaretools zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß*. München, Fachhochschule München, Fachbereich Elektrotechnik, Laborbericht, 1998. - URL: <http://www.e-technik.fh-muenchen.de/lab/lie/decision.html> (15-08-2000)

- Hoffmeister 2000** HOFFMEISTER, Wolfgang: *Investitionsrechnung und Nutzwertanalyse*. Stuttgart : Kohlhammer, 2000
- JAR 25** JOINT AVIATION AUTHORITIES: *Joint Aviation Requirements, JAR-25, Large Aeroplanes*
- Johannsen 1993** JOHANNSEN, Gunnar: *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin : Springer, 1993
- Jürgensohn 1996** JÜRGENSOHN, Thomas; MÜLLER, Wolfgang; SCHEFFER, Tobias: *Verbesserte Methoden zur Objektivierung von subjektiven Bewertungen des Fahrverhaltens*. Berlin, TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Forschungsbericht, 1996. – URL: <http://www.zmms.tu-berlin.de/publikationen/#Punkt3> (15-08-2000)
- Kesselring 1951** KESSELRING, F.: *Bewertung von Konstruktionen, ein Mittel zur Steuerung von Konstruktionsarbeit*. Düsseldorf : VDI, 1951
- Kirchner 1997** KIRCHNER, J.-H.: *Methodik der Systemgestaltung : Besser planen - Optimaler Einsatz menschlicher Ressourcen*. Braunschweig, TU Braunschweig, Abteilung Arbeitswissenschaft , Arbeitspapier, 1997. – URL: <http://www.tu-bs.de/institute/wirtschaftwi/arbeitswi/MDS.html> (15-08-2000)
- Kirsch 1978** KIRSCH, H.: *Bewertungsverfahren für Konstruktionsalternativen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht*, VFW-Fokker, Abt. LTH, Bremen, 1978
- Klimetzek 2000** KLIMETZEK, Franz R.; MAUE, Jürgen; DaimlerChrysler: *LUFO II-TIBS - TP 1 Individueller Komfort am Sitz : Konzeptuntersuchungen I*. Stuttgart : DaimlerChrysler AG, 2000
- Lieder 2000** LIEDER, Andreas; DaimlerChrysler, FT2/K: *Konzeptphase – Konzepte Bahn- und Luftfahrzeuge*. Frankfurt : DaimlerChrysler AG, 2000
- Lufthansa Report** DEUTSCHE LUFTHANSA AG: *Das Klima an Bord*. Frankfurt : Medienservice der Deutschen Lufthansa AG, 1998
- Mayer 1992** MAYER, E: *Eine neue Bewertungsgröße für Luftbewegung in Räumen*. In: *Sonderdruck aus Luft- und Kältetechnik*, 20 (1992), Nr. 5, S.165-168

- Mayer 1998** MAYER, E: „Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig?“. In: *Sonderdruck aus Luft- und Kältetechnik*, 34 (1998), Nr. 12
- Pahl 1997** PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang: *Konstruktionslehre*. 4.Aufl. Berlin : Springer, 1997
- Papst** URL: <http://www.papst.de> (07-08-2000)
- Paulig 2000** PAULIG, Maik: Raumbedarf in Sitzen : persönliche Mitteilung. EADS Airbus GmbH Hamburg, Abt. BLE2, 14-08-2000
- Poschmann 1999** POSCHMANN, Gregor: *Grundbegriffe der präskriptiven Entscheidungstheorie*. Berlin, TU Berlin, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Forschungsbericht, 1999. – URL: [http://www.zmms.tu-berlin.de/publikationen/ #Punkt 3](http://www.zmms.tu-berlin.de/publikationen/#Punkt%203) (15-08-2000)
- Recaro** URL: <http://www.recaro-as.com> (07-08-2000)
- Recaro 1999** RECARO AIRCRAFT SEATING GMBH & CO: *Technical Product Description : Business Class Seat Model 4420*. Scwäbisch Hall : RECARO Aircraft Seating GmbH & Co, 1999 (Doc.-No106-02)
- Recknagel 1997** RECKNAGEL, Hermann; SPRENGER, Eberhard; SCHRAMEK, Ernst-Rudolf (Hrsg.): *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik*. 68. Aufl. München : R. Oldenbourg, 1997
- Rietschel 1994** RIETSCHEL, Hermann; ESDORN, Horst (Hrsg.): *Raumklimatechnik*. Bd.1 : 1.*Grundlagen*. 16.Aufl. Berlin : Springer, 1994
- Rinza 1992** RINZA, Peter; SCHMITZ, Heiner: *Nutzwert-Kosten-Analyse : eine Entscheidungshilfe*. 2. Aufl. Düsseldorf : VDI, 1992
- Schernikau 1999** SCHERNIKAU, Bernd: *Skript zur Vorlesung Wertanalyse*. Hamburg, Fachhochschule Hamburg, Fachbereich Fahrzeugtechnik, Vorlesungsskript, 1999
- Schmid 1999** SCHMID, Sebastian E.: *HEURISK: Ein Entscheidungshilfeverfahren für das Risikomanagement in der Luft- und Raumfahrt*. ZMMS Spektrum Bd. 10. Sinzheim : Pro Universitate, 1999

- Schmidt 2000** SCHMIDT, J.-H.: *Nutzwertanalyse*. Flensburg, FH Flensburg, Fachbereich Wirtschaftsinformatik, Methoden, 2000. – URL: <http://www.wi.fh-flensburg.de/wi/schmidt/2000ss/methoden/nutzwertanalyse.htm> (26-07-2000)
- Scholles 1998** SCHOLLES, Frank: *Gesellschaftswissenschaftliche Grundlagen-Planungsmethoden : 7.5 Die Nutzwertanalyse und ihre Weiterentwicklung*. Hannover, Uni Hannover - Institut für Landesplanung und Raumforschung, Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung, 1998. – URL: http://www.laum.uni-hannover.de/ilr/lehre/Ptm/Ptm_BewNwa.htm#zweck (15-08-2000)
- Scholz 2000** SCHOLZ, Dieter: *Skript zur Vorlesung Flugzeugsysteme*. Hamburg, Fachhochschule Hamburg, Fachbereich Fahrzeugtechnik, Vorlesungsskript, 2000
- Schwab 2000** SCHWAB, Rudolf; Fraunhofer Institut für Bauphysik: *Zusammenstellung der Konzepte : Aus Vorschlägen von DA, DCFT, IBP*. Holzkirchen : Fraunhofer Institut für Bauphysik, 2000
- Sengotta 1994** SENGOTTA, Marcus; SCHWERES, Manfred: *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Fb 704 : Entwicklung und Evaluation eines Verfahrens der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung zur Bewertung komplexer Arbeitssysteme*. Dortmund : Wirtschaftsverlag NW, 1994
- SoftGuide** URL: http://www.softguide.de/prog_n/pn_0003.htm (15-08-2000)
- Spahni 2000** SPAHNI, Dieter: *Skript zur Vorlesung Operations Research - Nutzwertanalyse*. Bern, Berner Fachhochschule HSW Bern, 2000 – URL: <http://www.hsw.bfh.ch/Spahni/HSW/OpR/> (26-07-2000)
- Timpe 2000** TIMPE, K.-P.; KOLREP, H. (Hrsg.); WILLUMEIT, H.-P. (Hrsg.): *Mensch-Maschine-Systemen*. Reihe 22, Bd. 11 : *Bewertung von Mensch-Maschine-Systemen*. Düsseldorf : VDI, 2000
- VDI 2225** VDI - Richtlinie 2225 Blatt 3 März 1998. *Konstruktionsmethodik : Technisch-wirtschaftliches Konstruieren : Technisch-wirtschaftliche Bewertung*. Düsseldorf : VDI, 1998

- Wahl 1997** WAHL, D.; DaimlerChrysler AG, FT1/AK: *Lokale Komfortkriterien zur Bewertung des Innenraumklimas von Verkehrsmitteln* : DaimlerChrysler AG, 1997
- Warnecke 1996** WARNECKE, H.J.; BULLINGER, H.-J.; HICHERT, R.; VOEGELE, A.: *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure*. 3. Aufl.. München : Hanser, 1996
- Weber** URL: <http://www.weberair.com> (07-08-2000)
- W.E.T. 2000a** W.E.T. AUTOMOTIVE SYSTEMS AG: *Automobil-Sitzheizungen - Neuentwicklungen*. Odelzhausen : W.E.T. Automotive Systems AG, 2000
- W.E.T. 2000b** W.E.T. AUTOMOTIVE SYSTEMS AG: *Klimasitz - Aktive Klimatisierung von Fahrzeugsitzen*. Odelzhausen : W.E.T. Automotive Systems AG, 2000
- W.E.T. 2000c** W.E.T. AUTOMOTIVE SYSTEMS AG: *Kooperationsprojekt – Von der Sitzheizung zum ganzjährigen Komfortelement*. Odelzhausen : W.E.T. Automotive Systems AG, 2000
- Wittenberg 2000** WITTENBERG, Berend: *Nutzwertanalyse : persönliche Mitteilung*. EADS Airbus GmbH Bremen, Abt. EIT, 17-08-2000
- Zangemeister 1976** ZANGEMEISTER, Christof: *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik*. 4.Aufl. München : Wittmann, 1976
- Zangemeister 1993** ZANGEMEISTER, Christof: *Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz. Fb 676 : Erweiterte Wirtschaftlichkeits-Analyse (EWA) : Grundlagen und Leitfaden für ein „3-Stufen-Verfahren“ zur Arbeitssystembewertung*. Dortmund : Wirtschaftsverlag NW, 1993
- Zeltner 1994** ZELTNER; DaimlerChrysler AG, Abt. F1W/FB: *Technologie-Workshop „Klimatisierung–Technologien und Behaglichkeit“ : Kabinenluft-Schadstoffkonzentration am Fahrerarbeitsplatz*. Stuttgart : DaimlerChrysler AG, 1994
- ZMMS** URL: <http://www.zmms.tu-berlin.de/lehre/tutorial/> (08-09-2000)
- Zodiac** URL: <http://www.groupe-zodiac.com/indexuk.htm> (07-08-2000)

Die sicherheitstechnischen Anforderungen (Erkrath 1984)

1. Wertbegriff (s. Erkrath 1984, Seite 109)

Die erste Anforderung besteht darin, den Wert "Sicherheit" als Zielgröße einer sicherheitstechnischen Bewertung zu beschreiben. Die Beschreibung und Definition der Sicherheit bezieht sich auf

- die Sicherheit der Konstruktion,
- die Sicherheit des Verfahren,
- die Sicherheit der Energieversorgung,
- die Sicherheit der Schutzeinrichtungen,
- die Sicherheit der Warn-, Alarm- und Überwachungseinrichtungen,
- die Sicherheit der Meß-, Steuer- und Regeleinrichtungen,
- die Berücksichtigung der Ergonomie,
- die Sicherheit der Bauteile einschließlich Werkstoffauswahl,
- Vorkehrungen zur Vermeidung von Fehlbedienungen und Fehlverhalten,
- Vorkehrungen zur sachgerechten Ausführung von Instandhaltungsarbeiten.

2. Intersubjektivität (s. Erkrath 1984, Seite 110)

Die zweite Anforderung beinhaltet, da der Beweis für eine Objektivität nicht möglich ist, die Forderung der intersubjektiven Nachprüfbarkeit des Bewertungsablaufes und des Bewertungsergebnisses. Diese notwendige sicherheitstechnische Objektivitätsbedingung fordert die Unabhängigkeit der sicherheitstechnischen Bewertung

- vom Beurteiler,
- vom Bezugssystem,
- von der Bewertungsmethode
- von der zur Beurteilung verwendeten Sprache
- von Konventionen.

3. Akzeptierbarkeit (s. Erkrath 1984, Seite 110)

Die dritte Anforderung beinhaltet die Integration der Akzeptierbarkeit in den Bewertungsablauf und die Definition einer oder mehrerer Akzeptanzschwellen.

Akzeptanzschwelle = f (sicherheitstechnische Kennwerte; subjektive Interpretation des Begriffes Lebensqualität)

4. Logische Bedingung (s. Erkrath 1984, Seite 112)

Die vierte Anforderung besteht in der Forderung, bei der Ermittlung sicherheitstechnischer Bewertungskriterien die Logischen Bedingungen der Vollständigkeit, Widerspruchsfreiheit, Unabhängigkeit und Verträglichkeit soweit wie möglich zu erfüllen.

5. Sicherheitsspezifischer Kriterien (s. Erkrath 1984, Seite 112)

Die fünfte Anforderung fordert die Einbringung sicherheitsspezifischer Kriterien in das Bewertungsverfahren. In einem sicherheitstechnischen Bewertungsverfahren müssen Gefahren und mögliche Fehler als Bewertungskriterien definiert werden können.

A.1.2 Das Grundmodell der Entscheidungstheorie und das Phasenmodell nach Schmid 1999 (Poschmann 1999)

Tabelle A.1 Beispiel für die Erfassung der Konsequenzen über eine diskrete Punktskala (Poschmann 1999)

Benutzerfreundlichkeit der technischen Dokumentation der Alternative ...	Punktwert
ALPHA	gut 80
BETA	ausreichend 40
GAMMA	befriedigend 60

Tabelle A.2 Beispiel für eine Bewertung nach dem Scoring-Verfahren (Poschmann 1999)

	Kosten	Benutzerfreundlichkeit Dokumentation	Qualität des Supports
ALPHA	1200 DM befriedigend	gut	gut
BETA	200 DM sehr gut	ausreichend	sehr gut
GAMMA	6000 DM mangelhaft	befriedigend	ausreichend

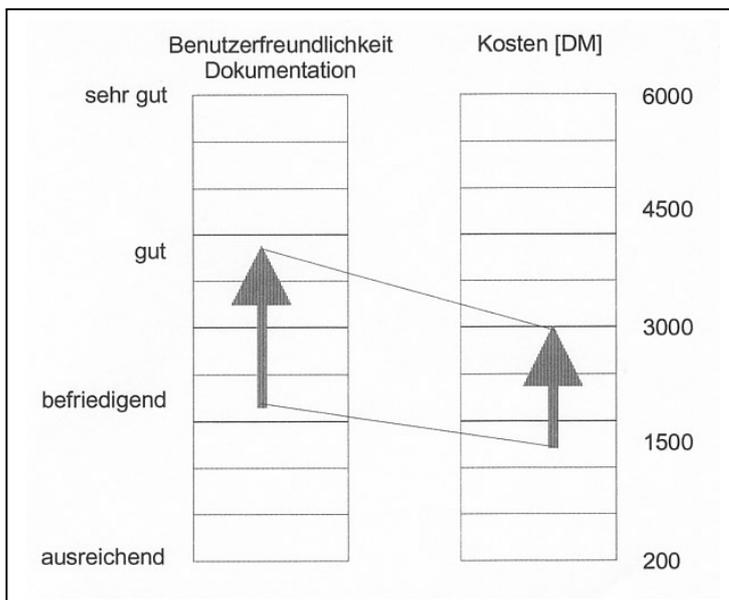


Bild A.2 Trade-Off zwischen Benutzerfreundlichkeit und Kosten (Poschmann 1999)

A.1.3 Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß

Tabelle A.3 Computerprogramme zur Unterstützung im Entscheidungsprozeß (Fournier 1998)

Produktname	Criterion Decision Plus 2.0	Decide Right 1.2	Decision Science Plus 3.0	Ergo 4.0	Expert Choice 9.48	Logical Decisions 4.0
Hersteller	InfoHarvest	Avantos	Austin Decisions	Arlington	Expert Choice	Logical Decisions
Kontakt	www.halcyon.com/infharv	www.avantos.com	www.austindecisions.com	www.arlingsoft.com	www.expertchoice.com	www.logicaldecisions.com
Betriebssystem	Windows 3.1/95	Windows 3.1/95	Windows 95/NT	Windows 95	Windows 3.1/95	Windows 3.1/95
Entscheidungsmatrix	nein	ja	nein	nein	ja	ja
Entscheidungshierarchie	ja	nein	nein	nein	nein	ja
Direkte Bewertung	ja	ja	ja	ja	nein	ja
Paarweiser Vergleich	ja	nein	ja	ja	ja	ja
Weitere Bewertungsverfahren	1 vereinfachte paarweiser Vergleich	nein	nein	nein	nein	mehrere weitere Verfahren
Ermittlung der besten Alternative	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Ermittlung der idealen Alternative	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Auswertung	umfangreich	gering	mittel	umfangreich	umfangreich	umfangreich
Sensitivitätsanalyse	veränderbare Gewichtung bei der Analyse	mehrere Szenarien möglich	Mehrere Szenarien möglich	nein	dynamische Diagramme	dynamisch
Tutorial	nein	nein	nein	ja	nein	nein
Online-Hilfe	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Benutzerführung	nein	ja	nein	ja	nein	nein
Gleichzeitiges Arbeiten in mehreren Fenstern	ja	ja	nein	ja	ja	ja
Symbolleisten	nein	ja	ja	ja	ja	ja

WinGHOST

Typische Anwendungsbeispiele für das Programm "WinGHOST" sind (**Damke 1995**):

- Entscheidungsfindung betrieblicher Funktionsträger höherer Managementebenen z.B. Standortauswahl für einen Chemiebetrieb: Die Vielzahl der Einflußfaktoren sowohl betriebswirtschaftlicher wie auch gesellschaftspolitischer Art bedarf einer klaren Strukturierung, Gegenüberstellung und Abwägung nicht nur monetärer Größen, um eine optimale Entscheidung zu treffen und diese argumentativ abzusichern.
- Analyse komplexer Systeme z.B. Schwachstellenanalyse in Verwaltungsstrukturen: Durch Strukturierung und Bewertung relevanter Kenngrößen wichtiger Aufgabenbereiche in einem hierarchischen Zielsystem können Defizitschwerpunkte identifiziert und mögliche Effekte von Verbesserungsmaßnahmen analysiert werden.
- Hilfe bei persönlichen Entscheidungen z.B. Studien- und Berufswahl: Durch die hierarchische Strukturierung und Abwägung von Wünschen und Vorstellungen kann eine hohe Akzeptanz bei der Auswahl der geeigneten Möglichkeiten aus den unterschiedlichsten Berufsprofilen erreicht werden.
- Auswahl industrieller Produkte z.B. Auswahl von Datenkommunikations- und Vernetzungstechnologie: Hier sind ebenfalls vielfältige, mehrdimensionale Einflußfaktoren zu berücksichtigen und zu bewerten, wie z.B. vorhandenes Know-how der Mitarbeiter, zu erwartende Innovationen, Kosten usw..

“In solchen Entscheidungssituationen sind in der Regel nicht alle Aspekte, die für die Bewertung und Auswahl von Handlungsalternativen von Bedeutung sind, von vornherein bekannt. Insbesondere die Ziele, die in solchen Situationen eine Rolle spielen, sind unklar, vielfältig und vage. Wichtige und unwichtige Ziele sind nicht deutlich unterschieden. Diese Sachverhalte müssen erst generiert, reflektiert und systematisiert werden, um eine klare und stabile Grundlage für die Entscheidung zu schaffen. WinGHOST unterstützt diesen Prozeß durch verschiedene Funktionen. Dabei können Alternativen, Systeme, Maßnahmen oder Objekte eingegeben und hinsichtlich der Zielstruktur bewertet werden. WinGHOST berechnet nach einem gewichteten additiven Modell für jede Alternative den Gesamtwert und erstellt danach eine Rangordnung“ (**Damke 1995**).

Weitere Einsatzmöglichkeiten (**Damke 1995**):

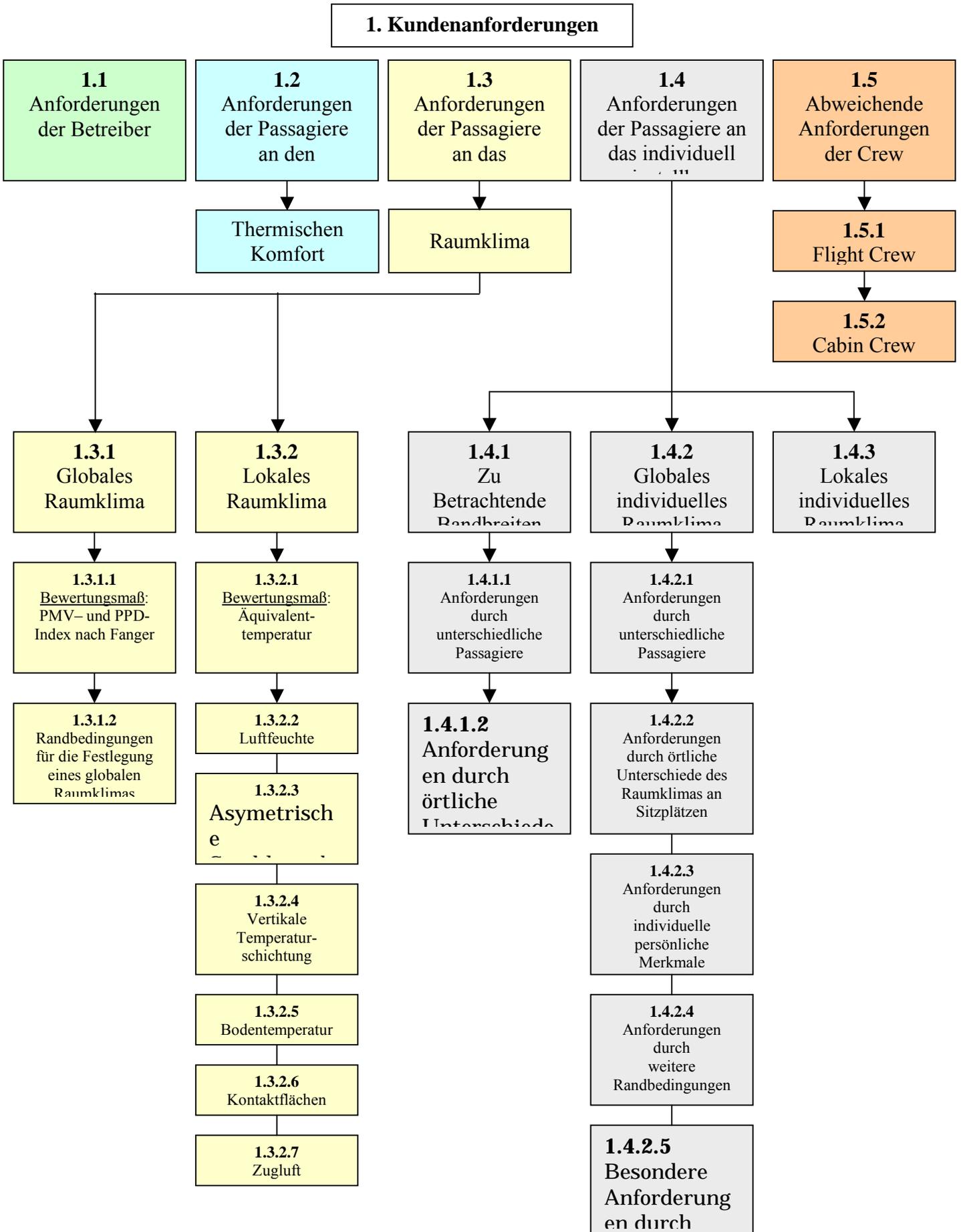
- Bewertung von Portfolios der Verteilung finanzieller Ressourcen,
- Bewertung von Forschungsprojektanträgen,
- Bestimmung der Ursachen bei technischen Defekten.

Die Vorteile, die sich bei der Entscheidungsfindung durch die Verwendung von WinGHOST ergeben (**Damke 1995**):

- Höhere Akzeptanz von Entscheidungen, die bei allen von der Entscheidung betroffenen Personen, da die zugrundegelegten Entscheidungskriterien transparent sind,
- Effizientere Gruppenentscheidungen: Entscheidungen in Gruppen können effizienter gestaltet werden, da jeder Entscheider im Vorfeld der Gruppendiskussion seine individuelle Bewertung mit WinGHOST durchführen kann und als rationale Diskussionsgrundlage einbringen kann,
- Überprüfung der Stabilität von Entscheidungen durch Sensitivitätsanalysen (Was-wäre-wenn-Szenarien).

Anhang B Kundenanforderungen und Richtlinien

B.1 Kundenanforderungen



Dieser Anhang ist ein Auszug aus dem System Anforderungen Dokument der EADS Airbus GmbH (EADS 1999).

B.1.1 Anforderungen der Betreiber

1. Verbesserter Passagierkomfort als Marketing-Instrument für die Airlines
2. Bindung des Passagiers an die Airline

B.1.2 Anforderungen der Passagiere an den thermischen Komfort

- Es soll ein PMV von 0,5 erreicht werden
- PMV (Maß für thermisches Komfortempfinden)
- Komfortbeurteilung des Passagiers soll auch lokal unterschiedliche thermische Bedingungen umfassen
- Grenzwerte bezüglich einzelner Klimaparameter (z.B. Luftgeschwindigkeit) für spezielle Körperteile festgelegt werden
- Durch die einstellbaren Maßnahmen der individuellen Sitzplatzklimatisierung soll für jeden einzelnen Passagier ein komfortables Klima erreicht werden können
- Durch die einstellbaren Maßnahmen der individuellen Sitzplatzklimatisierung soll die Zufriedenheitsrate der Flugzeuginsassen insgesamt erhöht werden
- Maßnahmen der individuellen Sitzplatzklimatisierung sollen in/an den Sitz integriert werden
- Die Behaglichkeit soll durch Erhöhung der Kabinenfeuchte gesteigert werden
- Das Komfortempfinden an den Sitzkontaktflächen soll gesteigert werden
- Die Quantifizierung des Komforts soll u.a. mittels entsprechender Komfortbewertungsgrößen erfolgen: PMV, LMV, PPD, Äquivalenttemperatur

B.1.3 Anforderungen der Passagiere an das Raumklima

Die Quantifizierung des Klimas soll mittels dafür geeigneter physikalischer Klimagrößen erfolgen:

- Temperaturen der Luft und der Umschließungsflächen
 - Luftgeschwindigkeiten
 - Luftfeuchte
- etc.

Die Beschreibung des Raumklimas soll für folgende Annahmen gelten:

- Raumklima = Mittelwert über alle Sitze
- Komfortbeschreibung über Kollektiv gemittelt
- Definition eines mittleren Passagiers, an durchschnittlichem Ort

B.1.3.1 Globales Raumklima

Große Gruppe von Personen nacheinander einem Raumklima ausgesetzt

Klimagrößen: + eine gleiche Lufttemperatur und Temperatur der Raumbegrenzungsflächen

+ eine feste Luftfeuchte

+ geringe Luftgeschwindigkeiten unter ca. 0,15 m/s

Personenbezogene Parameter: + die Art der getragenen Kleidung

+ die körperliche Aktivität (Behaglichkeitsgleichung von Fanger)

Unter diesen für alle Personen gleichen Bedingungen stellt man fest, daß bei gleicher Kleidung und körperlicher Aktivität bei der einer für Personen im mittel optimalen Kombinationen von Raumtemperatur und Luftfeuchte immer ca. 5% der Personen mit diesem Klima im Sinne der Definition von „Fanger“ unzufrieden sind.

B.1.3.1.1 Bewertungsmaß

PMV- und PPD-Index nach Fanger (DIN ISO 7730)

Tabelle B.1 PMV-Index

PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3
Beurteilung	heiß	warm	etwas warm	neutral	etwas kühl	kühl	kalt

B.1.3.1.2 Randbedingungen für die Feststellung eines globalen Raumklimas

Luftgeschwindigkeit:	0,1 m/s
Wasserdampfpartialdruck p_w :	310 Pa
relative Feuchte:	ca. 10% bei 24°C –Gesamtdruck 760mbar
Bekleidung:	0.8 clo, leichte Arbeitskleidung
Aktivität:	1.0 met (58 W/m ²), sitzend entspannt
(Wärmeproduktion des Körpers bezogen auf Hautoberfläche, die abgeführt werden muß)	
TU=TL	

Trockener Wärmestrom [W/m²]:

Wärmestrom am Insassen durch Strahlung, Konvektion und Transmission bei komfortabler Hauttemperatur (ohne Schwitzen)

B.1.3.2 Lokales Raumklima

Wenn eine Person im Hinblick auf den globalen thermischen Komfort im Neutral-Bereich befindet, d.h. bezogen auf den gesamten Körper weder zu warm noch zu kalt empfindet, können einzelne Körperteile Bedingungen ausgesetzt sein, die unkomfortabel sind.

Wahrnehmung des Zu-Kalt-Empfindens lokal über die Hauttemperatur

Wahrnehmung des Zu-Warm-Empfindens über die Bluttemperatur im Hypothalamus

Als unkomfortabel werden empfunden:

- Lokale, konvektive Abkühlung des Körpers durch Zugluft
- Erwärmung und Kühlung von Teilen des Körpers durch Strahlung
- Lokale Erwärmung durch direkte Solarstrahlung (Sonnenstrahlung durch Fenster)
- Kalte Füße und warmer Kopf, verursacht durch große, vertikalen Lufttemperaturunterschiede
- Warme oder kalte Füße durch unkomfortable Bodentemperaturen
- Kein Feuchtetransport und schlechte Wärmeleitung an Kontaktflächen

B.1.3.2.1 Bewertungsmaß

Äquivalenttemperatur

Die Äquivalenttemperatur fasst den Einfluß: + der lokalen Luftgeschwindigkeit
+ der Lufttemperatur
+ der Umschließungsflächentemperatur
unter Berücksichtigung direkter Strahlung zusammen.

Die Äquivalenttemperatur ist die Temperatur eines gedachten Bezugsraums mit
+ nahezu keiner Luftbewegung
+ gleicher Luft- und Umschließungsflächentemperatur
in dem für den Körper bzw. ein Körperteil der gleiche trockene Wärmestrom bei gleicher
Oberflächentemperatur vorliegt wie in der realen Umgebung.

Komfortgrenzen der Äquivalenttemperatur:

90% aller Personen mit dem lokalen Klima zufrieden

Kaltgrenze: 90% zufrieden, Winter, ruhig sitzend

Warmgrenze: 90% zufrieden, Sommer, ruhig sitzend

B.1.3.2.2 Luftfeuchte

zwischen 30% und 65 %
(DIN 1946)

B.1.3.2.3 Asymetrische Strahlungsbelastung

(DIN ISO 7730, DIN 1946, ASHARE Handbook)

Strahlungstemperatur: weniger als 10°C (an Fenstern und kalten, senkr. Flächen)
ca. 5°C (beheizte warme Decken)

Oberflächentemperatur: nicht unter 15°C (keine der den Raum umschließ. Flächen)

B.1.3.2.4 Vertikale Temperaturschichtung

(DIN 1946 Teil 2; Fraunhofer Institut, Holzkirchen)

Vertikale Temperaturgradient: max. 2°C pro Meter

Lufttemperatur bei 0,1m Höhe über d. Boden: nicht unter 22°C

B.1.3.2.5 Bodentemperatur

(DIN ISO 7730)

Bodentemperatur: 19°C bis 26°C (für sitzende Personen mit Schuhen)
(10% Unzufriedene)

B.1.3.2.6 Kontaktflächen

Hauttemperatur: 35.5°C bis 36°C (Bereich der Sitzfläche und des Rückens sowie die absolute Feuchte zwischen Haut und Bekleidung sind maßgebend)

Wasserpartialdruck: weniger als 50mbar (Hauttemp.=35.5°C u. rel. Feuchte=85%)

Höhere Werte der absoluten Feuchte führen zu einer Hautbenetzung mit Schweiß, die als sehr unangenehm empfunden wird.

B.1.3.2.7 Zugluft

Bei einer Forderung von max. 15% unzufriedener Personen ergeben sich als zul. Geschwindigkeiten:

Mittlere Luftgeschwindigkeit: ≤ 0.1 m/s
+ große Turbulenzgrade
+ Lufttemperatur: zwischen 18°C und 22°C

≤ 0.2 m/s
+ kleine Turbulenzgrade
+ Lufttemperatur: zwischen 22°C und 28°C

DIN ISO 7730 - Grenzwerte:

Luftgeschwindigkeit: 0,15 m/s (leichte, hauptsächlich sitzende Tätigkeit unter Winterbedingungen)

0,25 m/s (leichte, hauptsächlich sitzende Tätigkeit unter Sommerbedingungen)

Geltungsbereich: Kopf/Nackengebiet; unbedeckte Körperteile (z.B. Hände, Unterarme, Fesseln)

B.1.4 Anforderungen der Passagiere an das individuell einstellbare Klima**B.1.4.1 Zu betrachtende Bandbreiten**

In der Kabine sollen Abweichungen der Passagiere hinsichtlich Bekleidung und Aktivität und örtliche Unterschiede des Raumklima durch eine individuelle Klimatisierung ausgeglichen werden können, so daß auf jedem Sitzplatz eine individuelle Empfindung von 0,5 der PMV-Skala für jeden Passagier erreicht werden kann.

B.1.4.1.1 Anforderungen durch unterschiedliche Passagiere

Aktivität: 0.8 met (liegend, schlafend) bis 1.2 met (sitzende Tätigkeit)

Bekleidung: 0.5 clo (leichte Sommerkleidung) bis 1.1 clo (Anzug, Winterbekleidung für Innenräume)

B.1.4.1.2 Anforderungen durch örtliche Unterschiede des Raumklimas an Sitzplätzen

In der Kabine kann nicht für alle Sitzplätze das geforderte Raumklima sichergestellt werden.

Folgende örtlichen Unterschiede sollten ausgeglichen werden:

Fensterplätze:

- kalte Außenwände
- kalte Fußböden
- Sonnenstrahlen durch Fenster
- Rollos warm
- Luftbewegung ist gering
- beschränkte Bewegungsmöglichkeiten im Gangbereich
- wegen Nähe zum Fenster wird die Fensterfläche als ausreichend empfunden
- Blick nach außen dient der Abwechslung

Der neben dem Fensterplatz liegende Sitz:

- geringe Luftbewegung
- kein Körperkontakt zu kalten Umschließungsflächen
- Bewegungsmöglichkeiten sind durch zwei Nachbarn maximal eingeschränkt
- Vor- und Nachteile des Fensters kommen nur bedingt zu Geltung

Gangbereich:

- ausreichende Luftbewegungen vorhanden
- Gefahr im Kopfbereich von Luftauslässen angeblasen zu werden => Zegerscheinungen
- Bewegungsmöglichkeiten sind vergleichsweise gut
- der Raum wird fensterlos empfunden

Der mittlere Sitz einer Mittelreihe:

- ausreichende Luftbewegung
- Bewegungsmöglichkeiten sind durch zwei Nachbarn maximal eingeschränkt
- der Raum wird fensterlos empfunden

Sonderbereiche:

- Unterschiede im Türbereich oder nahe Galleys
- => kalte Luft wird durch Luftströmungen in Kabinenlängsrichtung herangeführt

Zuordnung zu Kabinenzonen:

Aufteilung der Kabine in Längsrichtung in verschiedene Klimazonen führt im Randbereich dieser Klimazonen zu Problemen => der Wärmebedarf dieser Bereiche werden nicht durch Temperaturregler erfasst.

Folge: hohe unerwünschte Abweichungen zur mittleren idealen Temperatur dieser Temperaturzone

- Auftreten solcher Probleme, wenn durch Vorhänge einzelne Sitzreihen von ihrer eigentlichen Klimazone abgetrennt und quasi einer anderen Zone zugeschlagen werden

Festlegung der verschiedenen Parameter in der Kabine:

Luftgeschwindigkeit:	0.05 m/s bis 0.25 m/s
Temperaturvariation innerhalb einer Temperaturzone:	ca. 4.5 °C
Basis-mittlere Zonentemperatur:	24°C
Wand- und Bodentemperaturen:	15°C bis 30°C
Innere Fensterscheiben und Rahmenverkleidungen:	11°C bis 31°C

Angaben über vertikale Temperaturverteilung kann bei einer globalen Betrachtung nicht berücksichtigt werden

B.1.4.2 Globales individuelles Klima

Anforderungen ergeben sich aus: globalem individuellen Komfort

B.1.4.2.1 Anforderungen durch unterschiedliche PassagiereRandbedingungen:

Luftgeschwindigkeit:	0.1 m/s
Wasserdampfpartialdruck p_w :	233 Pa
rel. Feuchte:	10% bei 24°C
Gesamtdruck:	760 mbar
Lufttemperatur:	TL °C
Umschließungsflächentemp.:	TU °C
Annahme:	TU=TL

Basis:

PMV:	0.5
Passagier:	1.0 met und 0.8 clo
Trockener Wärmestrom:	30 W/m ²

Geringe Aktivität, leichte Sommerkleidung:

Aktivität:	0.8 met	
Bekleidung:	0.5 clo	leichte Sommerkleidung
gefordertes PMV:	ca. 0.5	
erforderliche Temperatur:	ca. 31°C	
erforderlicher, trockener Wärmestrom:	ca. 20 W/m ²	

Hohe Aktivität, Anzug:

Aktivität:	1.2 met	
Bekleidung:	1.1 clo	Anzug
gefordertes PMV:	ca. 0.5	
erforderliche Temperatur:	ca. 24°C	
erforderlicher, trockener Wärmestrom:	ca. 35 W/m ²	

Temperatur:

PMV-Wert angestrebt:	0.5
erforderliche Umgebungstemperatur:	zwischen 24 °C und 31°C
erforderlicher, trockener Wärmestrom:	zwischen 35 W/m ² und 20 W/m ²

B.1.4.2.2 Anforderungen durch örtliche Unterschiede des Raumklimas an Sitzplätzen

Kalter Sitzplatz:

Luftgeschwindigkeit:	0.25 m/s
Lufttemperatur:	25 °C
Mittlere Umschließungsflächentemp.:	ca. 22.6 °C
Annahme-Strahlungsaustausch:	25%-Oberfläche-Pax => Wandtemperatur 15 °C 75%-Oberfläche-Pax => Wandtemperatur 25 °C

Warmer Sitzplatz:

Luftgeschwindigkeit:	0.05 m/s
Lufttemperatur:	29 °C
Mittlere Umschließungsflächentemp.:	ca. 29.5 °C
Annahme-Strahlungsaustausch:	25%-Oberfläche-Pax => Wandtemperatur 31 °C 75%-Oberfläche-Pax => Wandtemperatur 29 °C

Tabelle B.2 PMV-Werte

Passagier: Aktivität, Bekleidung	Warmer Sitzplatz	Basis-Raumklima	Kalter Sitzplatz
0.8 met, 0.5 clo	0.0	-1.1	< -3.0
1.0 met, 0.8 clo	1.1	0.5	-0.7
1.2 met, 1.1 clo	1.4	1.0	0.2

Tabelle B.3 Trockene Wärmeströme [W/m²]

Passagier: Aktivität, Bekleidung	Warmer Sitzplatz	Basis-Raumklima	Kalter Sitzplatz
0.8 met, 0.5 clo	26	39	62
1.0 met, 0.8 clo	20	30	48
1.2 met, 1.1 clo	15	24	38

B.1.4.2.3 Anforderungen durch individuelle persönliche Merkmale

- Geschlecht, Alter, Herkunft und Angewohnheiten haben geringen Einfluß auf bevorzugte Umgebungstemperaturen
- Daher können Aufgrund der bisherigen Untersuchungen auf der ganzen Welt ähnliche Komfortbedingungen angenommen werden
- Jedoch deutliche Unterschiede bei den Bekleidungsgewohnheiten, die wiederum unterschiedliche Umgebungstemperaturen erforderlich machen

B.1.4.2.4 Anforderungen durch weitere Randbedingungen

- Jahreszeit
- Tageszeit
- Start- und Zielort des Fluges

B.1.4.2.5 Besondere Anforderungen durch instationäre Randbedingungen

- Boarding
- Deplaining
- Einfluß durch Nachbarn

B.1.4.3 Lokales individuelles Klima

- Keine starke Beeinflussung des Raumklimas
- Keine starke Beeinflussung benachbarter Sitzplätze
- Lokal sollte durch die Maßnahmen die Kalt- und Warmgrenze der Äquivalenttemperatur für die einzelnen Körperteile erreicht werden können (für Passagiere mit entsprechender Aktivität und Bekleidung)
- Die individuelle Klimatisierung des Sitzplatzes sollte weitestgehend durch Maßnahmen erfolgen, die die beschriebenen Komfortgesichtspunkte erfüllen

B.1.5 Abweichende Anforderungen der Crew

B.1.5.1 Flight Crew

- Höhere Aktivität => niedrige Grundtemperatur
- Keine direkte Wechselwirkung mit dem Passagierraum vorhanden

B.1.5.2 Cabin Crew

- Höhere Aktivität => niedrige Temperatur im Gang- / Arbeitsbereich
- Keine zu Schwankungen der lokalen Temperatur über°C
- Zusätzliche Aufenthaltsbereiche der Crew: Galley, Cabin Attendant Seat, Crew Rest
-> weitere örtliche Unterschiede der Plätze

B.2 Richtlinien

B.2.1 Design Requirements

Für die Entwicklung und Konstruktion der Sitze sowohl als auch ihre Installation, müssen die Voraussetzungen mit denen die in diesem Kapitel stehen übereinstimmen.

FAR/JAR:

25.561	Emergency Landing Conditions / General
25.562	Emergency Landing Dynamic Conditions
25.603	Design and Construction / Materials
25.605	Design and Construction / Fabrication Methods
25.609	Protection of Structure
25.613	Design and Construction / Material strength properties and design values
25.615	Design and Construction / Design properties
25.621	Design and Construction / Casting factors
25.623	Bearing factors
25.625	Fitting factors
25.785	Seats, berths, safety belts and harnesses
25.807	Passenger emergency exits
25.813	Emergency Exit Access
25.815	Emergency Provisions / Width of aisle
25.817	Max. number of seats abreast
25.853	Fire protection / Compartment interiors and Appendix F
25.1301	Equipment / Function and Installation
25.1307a	Miscellaneous Equipment
25.1309	Equipment / Equipment Systems and Installation
25.1411	Safety Equipment / General
25.1413	Safety belts
25.1415	Ditching equipment

B.2.2 Technical Standard Orders

TSO – C 13d	Life Preservers, dated May 1972
TSO – C 13e	Life Preservers, dated April 1986
TSO – C 22g	Safety Belts, dated 3.5.93
TSO – C 39b	Aircraft Seats and Berths, dated 17.4.87
TSO – C 72c	Individual Floatation Devices, dated February 1987
TSO – C 127a	Rotorkraft and Transport Airplane Seating Systems

B.2.3 Operational Requirements

B.2.3.1 Federal Aviation Regulations

FAR part 121 para. 382.21

FAA Memorandum Simplified Procedure for Addressing the HIC of para. 25.562, dated 16.2.96

B.2.3.2 Civil Aviation Authority (U.K.)

AN 56 Floor Prox. Emergency Escape Path Markings, issue 4, dated March 1992

AN 59 Aircraft Seats and Berths Resistance to Fire, issue 3, dated December 1986

AN 64 Minimum Space for Seated Passengers, issue 1, dated 1989

AN 79 Access to and opening of Type III and Type IV emergency exits

B.2.3.3 Direction Generale De L'Aviation Civile (France)

Nicht anwendbar

B.2.4 Aerospace Recommended Practice

ARP 750C Passenger Seat Design, dated November 1987

ARP 767 A Impact Protective Design or Occupants Environment Transport Aircraft, dated January 1978

ARP 577 C Emergency Placarding – Internal and External, date 16.3.93

B.2.5 Advisory Circular

AC 21 – 22	Injury Criteria for Human Exposure to Impact, dated June 1985
AC 25 – 17	Transport Airplane Cabin Interiors Crashworthiness Handbook, dated 15.7.91
AC 25.807 – 1	Uniform Distribution of Exits
AC 25.853 – 1	Flammability Requirements for Aircraft Seat cushions, dated September 1986
AC 25.562 – 1A	Dynamic Evaluation of Seat Restraint Systems & Occupant Protection on Transport Airplanes, dated 19.1.96

B.2.6 National Aircraft Standard Committee

NAS 809	Specification – Aircraft Seats and Berths
---------	---

B.2.7 Aerospace Standard

AS 8049	Performance Standard for Seats in Civil Rotorcraft and Transport Airplanes, last update
---------	---

B.2.8 SAE

SAE [The Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space]

J 211	Instrumentation for Impact Test, revised October 1988
-------	---

B.2.9 Airbus Specifications

ABD 0100	Equipment – General Technical Requirements, dated October 1988
ABD 0019	Equipment – Buyer Furnished, latest issue
ABD 0031	Fire – Smoke – Toxicity, latest issue (supersedes the ATS 1000.001)
ABD 0056	Glossary of Airbus Terms and Expressions
TL25/5092/83	Seat Cover Fabric, latest issue
BSF-001	Quality Assurance Requirements, for Buyer Furnished Equipment (BFE), latest issue
BSF-013	First Article Inspection, latest issue
BSF-004	Quality Assurance Requirements, for Seller Furnished Equipment (SFE), latest issue (supersedes the TLQ24/100/87)
2520 M1I 0006 00	Seat Interface Specification for Seat-Mounted Emergency Light, latest issue
2520 M1I 0017 00	Seat Interface Specification for Passenger Entertainment Systems and Electrical Operated Seats, latest issue

B.2.10 International Standards

DIN ISO 7730	Moderate thermal environment; Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort“
DIN 1946	Norm DIN 1946 Teil 1 Oktober 1988. <i>Raumlufttechnik : Terminologie und graphische Symbole</i>
ASHRAE	Handbook 1993, SI Edition

Anhang C Kriterienkatalog und Excel-Tabellen

C.1 Kriterienkatalog

C1.1 Auslegung

C1.1.1 Energieverbrauch / -effizienz

LCD-Bildschirme:

Tabelle C.1 Leistungsdaten von LCD's im Sitz

System LCD	Power [VA]	Weight [kg]
LCD 7 "	30	1,3
LCD 10 "	35	1,8

Seat Electronic Box (SEB):

Tabelle C.2 Leistungsdaten von Systemen im Sitz

System SEB	Power [VA] per seat group	Weight [kg] per seat group
Audio only (2000)		
- 1 seat group	12	
- 2 seat group	13	0,95
- 3 seat group	14	1,1
- 4 seat group	15	
ADB	40	
Audio/Video (2000)		
- 1 seat group	26	
- 2 seat group	40	1,2
- 3 seat group	57	
ADB	40	
Interact. Audio/Video LCD's <= 6.5"		
- 1 seat group	80	
- 2 seat group	90	1,55
- 3 seat group	110	1,59
ADB	40	
Interact. Audio/Video LCD's > 6.5"		
- 1 seat group	100	
- 2 seat group	120	
- 3 seat group	-	
ADB	40	

Wärmeabgabe des Seat Electronic Box (SEB) und Inseat Power Supply Unit (ISPSU):

Tabelle C.3 Wärmeabgabe von ISPSU und SEB

	Operation	Stand By
ISPSU	20 W / pax	2 W
SEB	35 W / Inseat LCD pax	20 W

Lüfterdaten:

Tabelle C.4 Leistungsdaten von Lüftern - Ventilatoren-400Hz (Ametek)

Bezeichnung	Spannung [V]	Luftförderung [l/s]	Drehzahl [U/min]	Leistungsaufnahme [W]	Stromaufnahme [A]	Kondensator [μ F]	Gewicht [kg]	Max. Temp. [°C]
MAXIME-E 4850 II Z	115	16,5	21500	21,0	0,17	-	0,095	85
FAVORI-E 3090 K	115	17,5	22500	20,0	0,18	-	0,165	85
MAXIMAL-E 4860.4 K	115	15,0	10500	18,5	0,20	0,68	0,120	100
AXIMAX 2H-415 YH	115	16,0	11800	18,0	0,18	0,15	0,128	100
AXIMAX 2H-395 JH	200	16,0	12200	22,0	0,11	-	0,128	125
PERVENCHE-E 10840	200	21,5	5450	10,0	0,05	-	0,250	100
MIL-80-1891 DF	115	27,0	5650	10,0	0,09	0,39	0,336	125
MIL 80-1918 JF	200	26,0	5310	8,1	0,05	-	0,336	100
TRIMLINE-1395 YH	115	19,0	5000	44,0	0,39	0,50	0,670	100

Heiz-/Kühlleistung zum Ausgleich von unterschieden bei den Passagieren (EADS 1999):

Für ein gewünschten PMV-Wert von ca. 0.5 :

Raumklima: 27°C

Passagier: geringe Aktivität, leichte Bekleidung **Heizleistung: 10 W/m²**
 Passagier: hohe Aktivität, normale Bekleidung **Kühlleistung: ca. 5 W/m²**

bereitgestellt werden.

Zusätzlich: Variation für unterschiedliche Sitzplatzposition: **+20W/m² heizen**
+10W/m² kühlen

→ Summe: 30 W/m² heizen, 15 W/m² kühlen

Geforderte Luftmengen, Temperaturbereiche, Heiz-, Kühlleistungen (EADS 1999):

Aus Komfortanforderungen:

Aktivität: 1.0 met

Bekleidung: 0.8 clo

=> Heizleistung: ca. 20 W/m²

=> Kühlleistung: ca. 10 W/m²

Aus den Tabellen:

Heizleistung: ca. 40 W/m²

Aktivität: 0.8 met

Bekleidung: 0.5 clo

Sitplatz: kalt

PMV-Wert: 0.0

Kühlleistung: ca. 20 W/m²

Aktivität: 1.2 met

Bekleidung: 1.1 clo

Sitplatz: warm

PMV-Wert: 0.2

C1.1.2 Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko

Keine zusätzlichen Angaben

C1.1.3 Regelungsaufwand

Keine zusätzlichen Angaben

C1.1.4 Lebensdauer

Keine zusätzlichen Angaben

C1.2 Gestaltung

C1.2.1 Größe, Lage

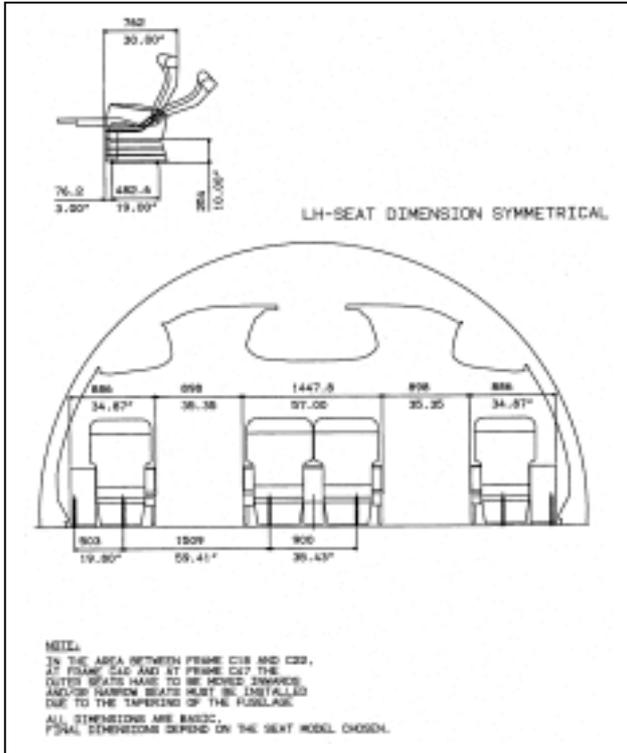


Bild C.1 Querschnitt F/C, 4er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)

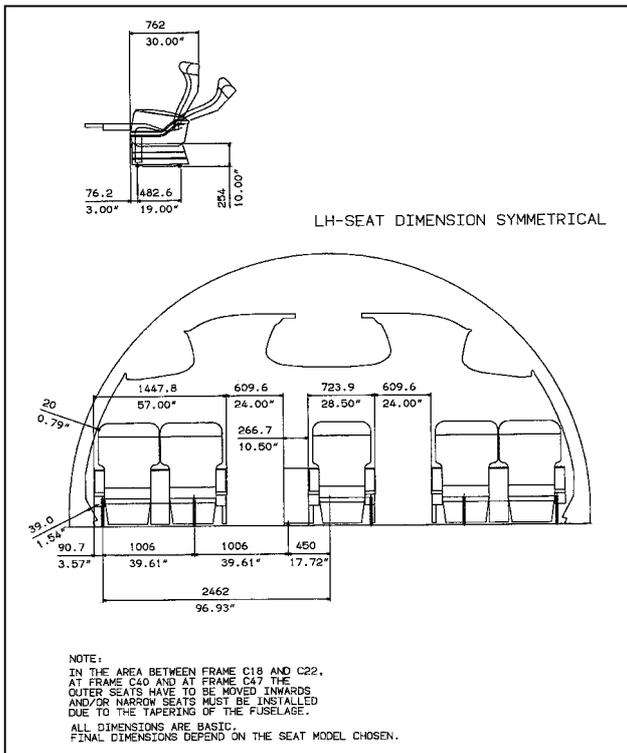


Bild C.2 Querschnitt F/C, 5er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)

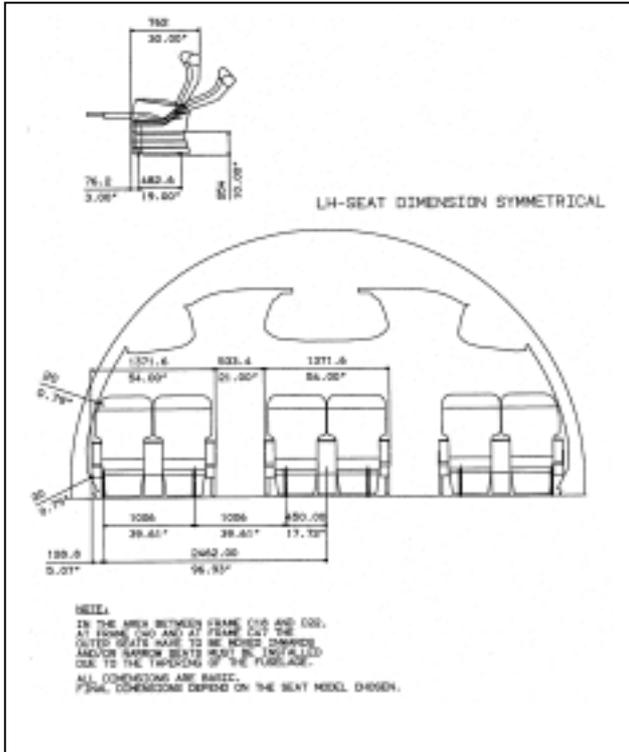


Bild C.3 Querschnitt F/C, 6er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)

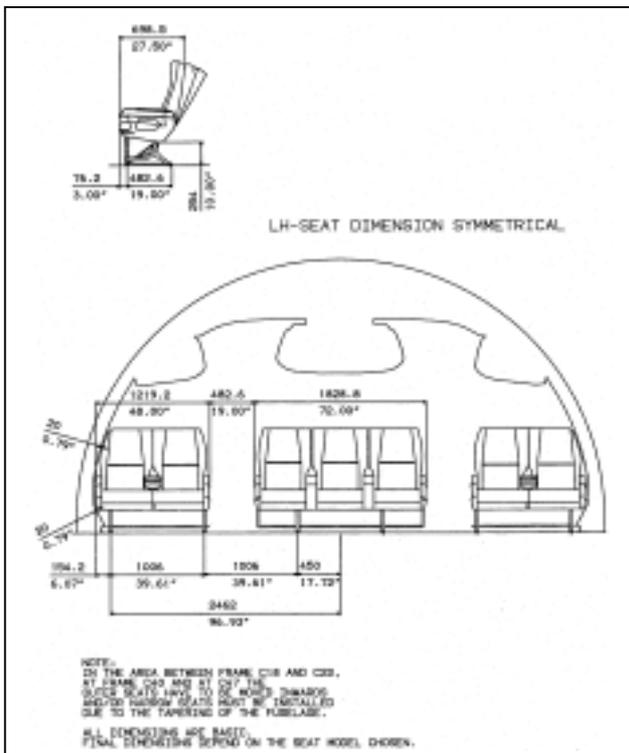


Bild C.4 Querschnitt B/C, 7er-Sitzreihe, Standard Dimensionierung (Airbus 1999a)

Spiel

Zwischen einem Teil des Sitzes und einem anderen Teil der Innenausstattung muß eine minimale theoretischer Spiel von 20mm (0,787°) eingehalten werden.

Ein Kontakt zwischen Sitz und Kabineninnenausstattung (z.B. Sidewall) ist verboten.

Siehe **Airbus 1999a**.

Breite des Sitzbeines

Die Breite der Sitzbeine darf über die Sitzspur nicht größer sein als 30 mm (1,181°)

Toleranzen von Sitzkomponenten

Wenn nicht andersweitig spezifiziert, haben alle starren Sitzkomponenten folgende Toleranzen einzuhalten:

+ 0 mm (0,000°)

-10 mm (0,394°)

Weitere nicht spezifizierte Toleranzen haben eine Übereinstimmung der in Tabelle C.5 und C.6 gegebenen Toleranzen einzuhalten.

Befestigungsteile sind auszuschließen.

Toleranzen

Weitere nicht spezifizierte Toleranzen sollen übereinstimmen mit folgenden:

Tabelle C.5 Toleranzen-1 (**Airbus 1999a**)

Nominale Länge [mm]					
	über	Über	Über	über	über
0,5	8	30	120	400	1000
Bis	bis	bis	Bis	bis	bis
8	30	120	400	1000	2000
±0,2	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

Tabelle C.6 Toleranzen-2 (**Airbus 1999a**)

Nominale Länge [mm]				
	über	über	Über	über
2000	4000	8000	12000	16000
Bis	bis	Bis	Bis	bis
4000	8000	12000	16000	20000
±2	±3	±4	±5	±6

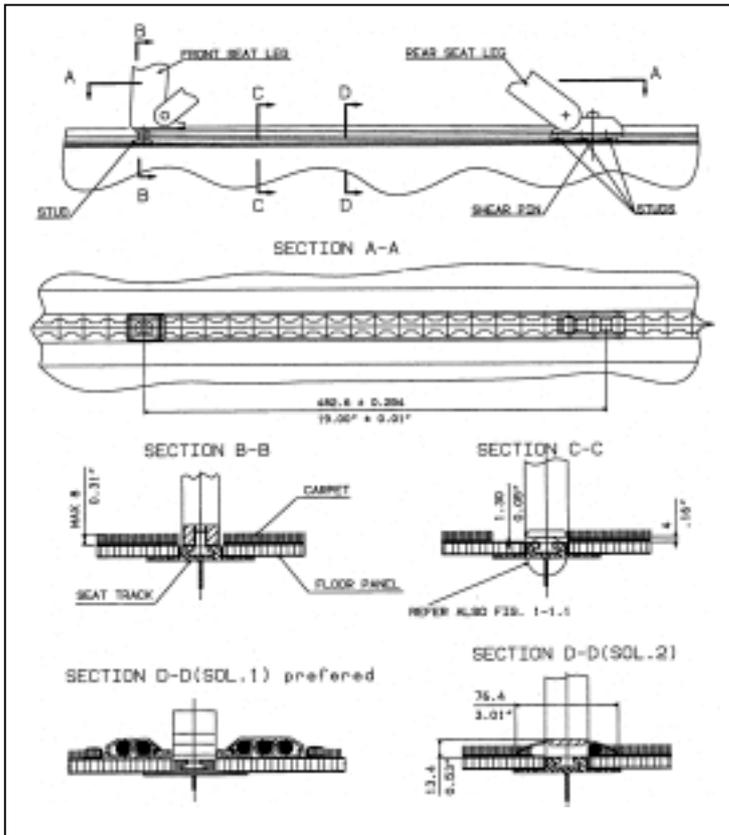


Bild C.5 Typische Sitzbefestigung (Airbus 1999a)

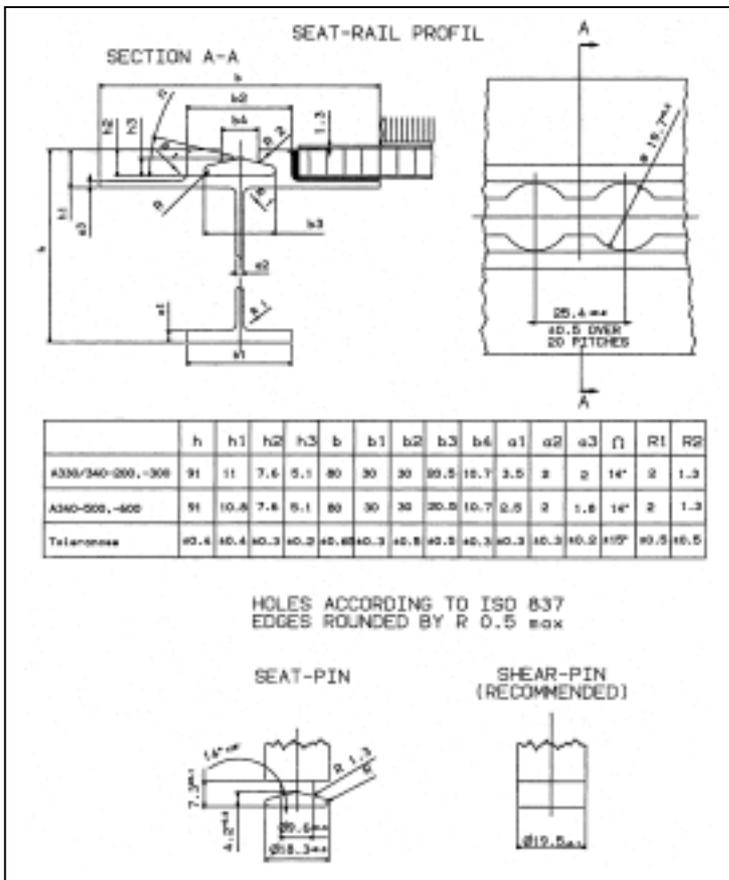


Bild C.6 Detailzeichnung (Sitzschiene und Sitzbolzen) (Airbus 1999a)

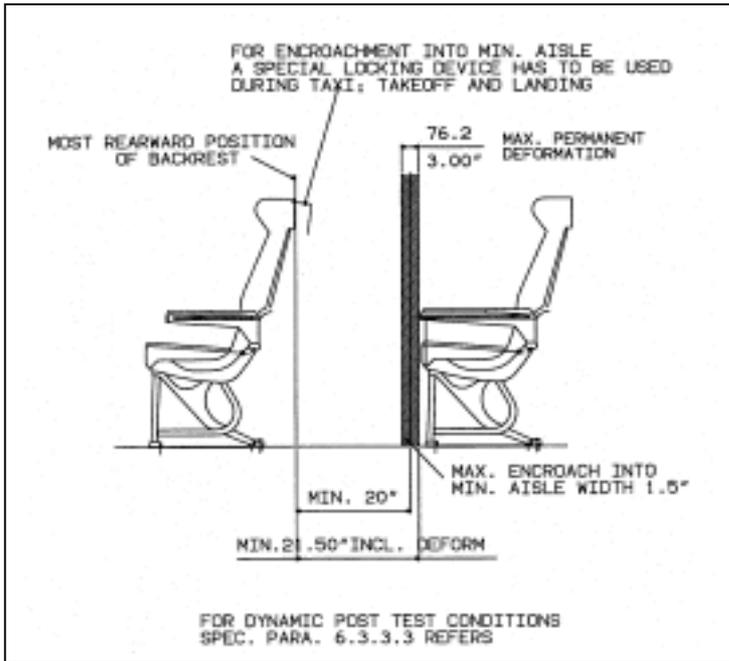


Bild C.7 Minimale Quergangbreite (Airbus 1999a)

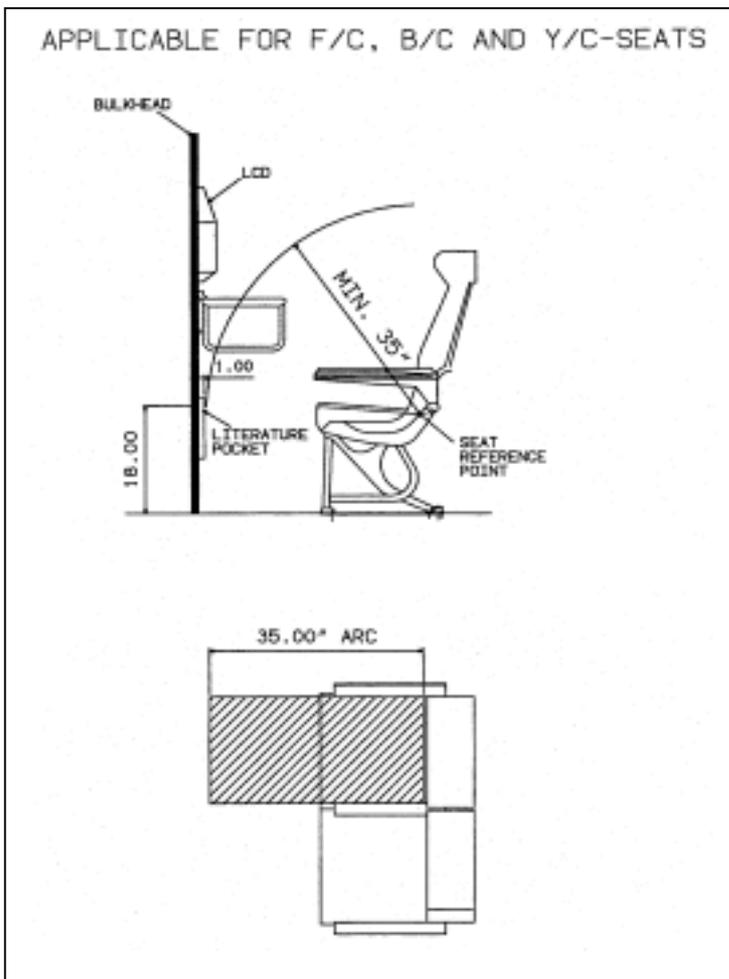


Bild C.8 Abstand zur Trennwand (Airbus 1999a)

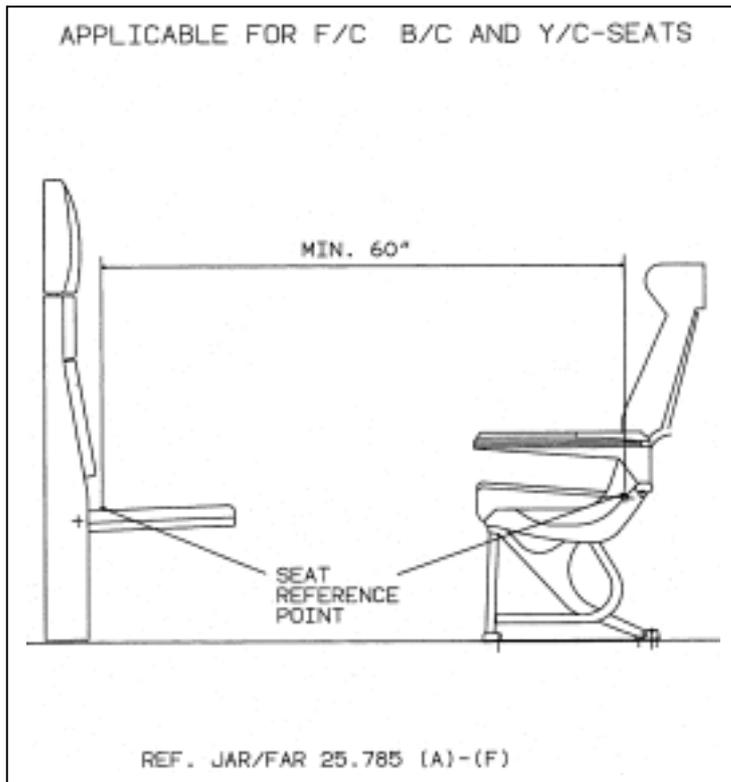


Bild C.9 Abstand zum Crew-Sitz (Airbus 1999a)

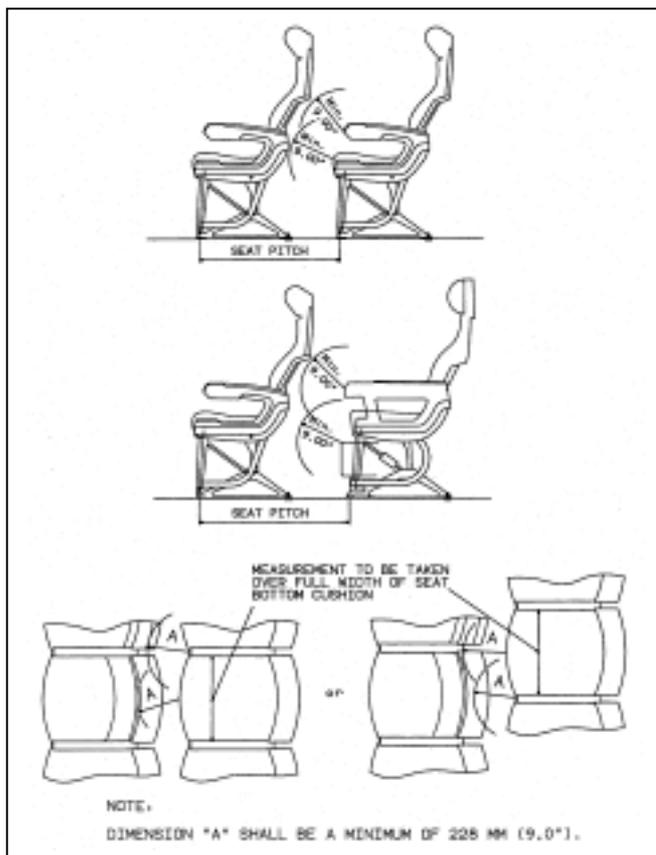


Bild C.10 Minimaler Sitzabstand (Airbus 1999a)

Maximaler Sitzabstand

- F/C-Sitze: zwischen 54 in (1371,6 mm) und 85 in (2159 mm)
- B/C-Sitze: zwischen 38 in (965,2 mm) und 54 in (1371,6 mm)

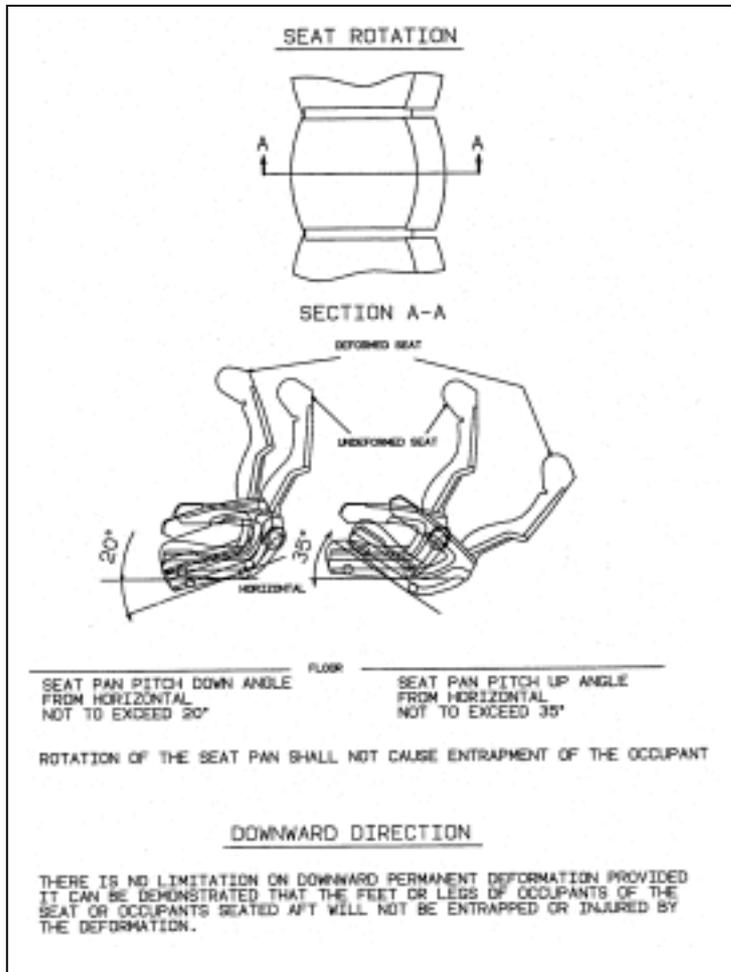


Bild C.11 Maximale Sitzneigung beim Testen (Airbus 1999a)

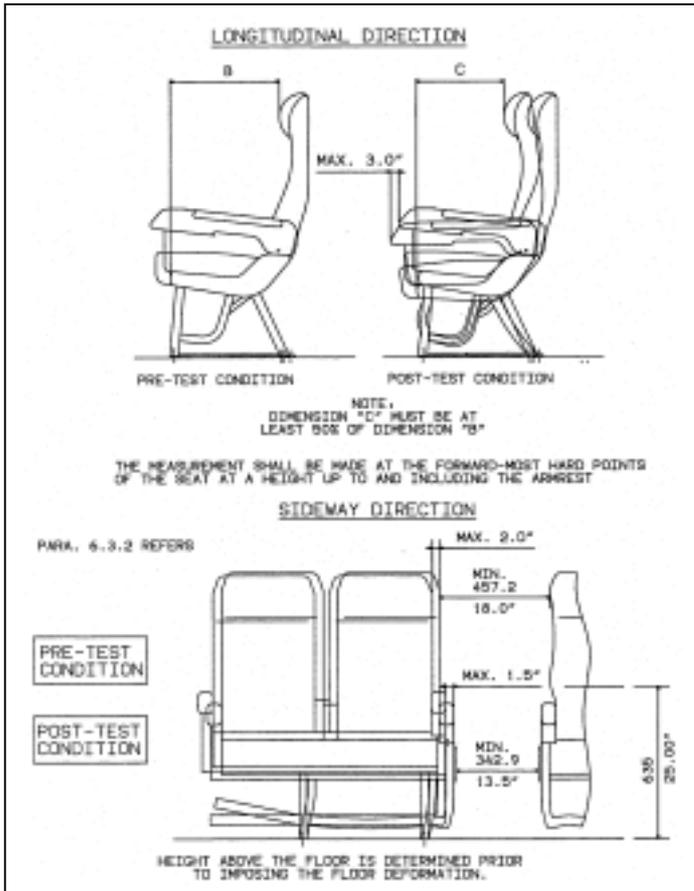


Bild C.12 Verformung des Sitzes in Längs- und Seitwärtsrichtung (Airbus 1999a)

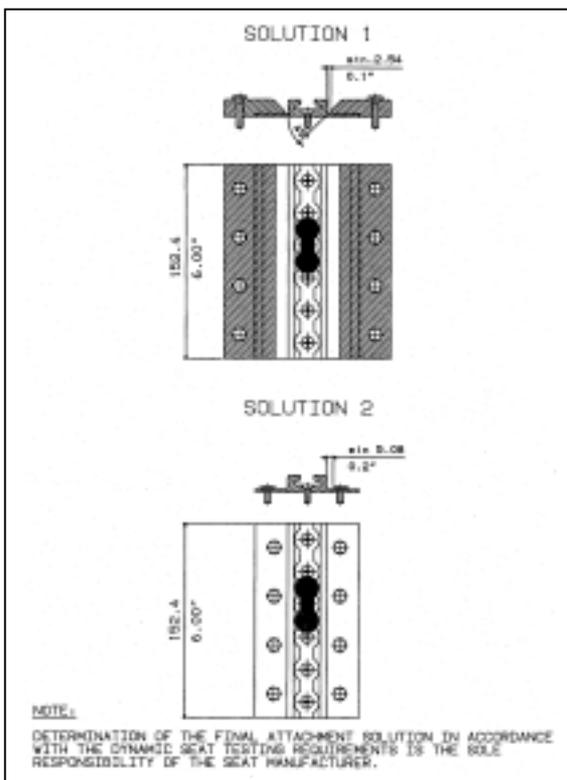


Bild C.13 Typisches Sitz-Befestigungsprinzip (Airbus 1999a)

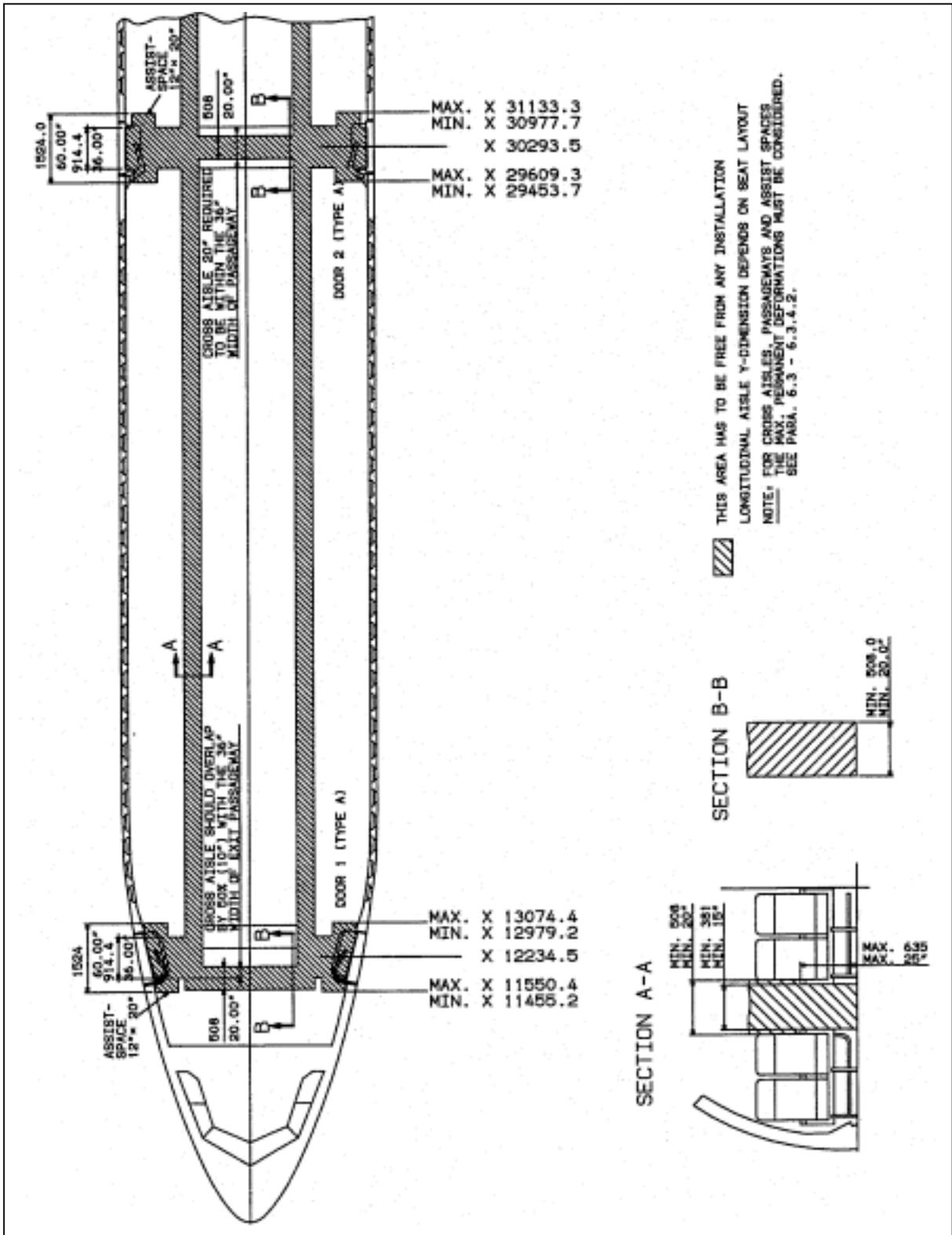


Bild C.14 Anforderungen an die minimale Gangbreite - A340-600 FWD (Airbus 1999a)

C1.2.2 Raumbedarf, Anpassung

Im Flugzeug

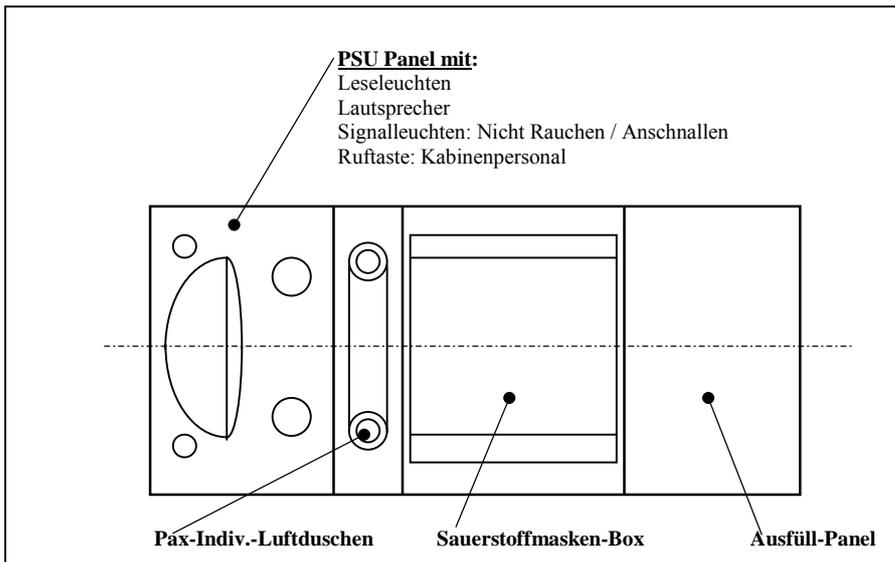


Bild C.15 Hatrack-Panel (Prinzipskizze)

A320

- 260 x 460 (beinhaltet Signalleuchten, Leselampen und Sauerstoff-Box, ohne Füll-Panel)

A340

- Lateral Panel (mit u. ohne Luftduschen) : 315 x 900
- Center Panel " : 540 x 900
- PSU Panel : 315 x 202
- Pax-Luftduschen : 315 x 76
- Sauerstoff-Box : 315 x 252
- Ausfüll Panel : 315 x 370

Informationen wurden aus **Airbus 1999b** entnommen.

Im Sitz

1. Welche Möglichkeiten gibt es im Sitz Luftleitungen zu verlegen?

“Durch den Einbau von immer mehr elektronischen Geräten ist der verbleibende Platz verschwindend klein. Eine genaue Aussage über den Platz kann nur der Sitzhersteller selbst geben, da wir keine Detailangaben über den Sitzaufbau haben“ (**Paulig 2000**).

2. Platzkapazität für Ventilatoren, Leitungen, Bedienelemente im Sitz?

“Laut unserer Sitz Spezifikation gibt es nur Richtwerte für die Maße. Solange die Abmessungen nicht mit den Flugzeug Forderungen kollidieren ist alles erlaubt“ (**Paulig 2000**).

3. Maximale Durchmesser der Rohre die im Sitz installiert werden können ?

Ist abhängig von der jeweiligen Konstruktion. In Zusammenarbeit mit Sitzhersteller kann man bessere Ergebnisse erzielen.

Erkenntnisse aus **Blanck 2000**:

- Durch den Einbau des Video Monitors zwischen den Sitzen und der Tische an den außen Armlehnen, hat man die Möglichkeit auf der Rückenlehne im Vordersitz andere Systeme zu installieren. z.B. Luftauslässe, IR Strahler etc.
- Die installierten Systeme in bzw. auf der Rückenlehne dürfen den Passagier nicht verletzen (Kopf und Oberschenkel)
- Für die Luftauslässe unter dem Sitz für Fußbereich müssen die Fußstützen bei den F/C und B/C-Sitzen betrachtet werden.
- Durch elektrische Systeme, kaum Platz für andere Systeme: s. Kopie-Zeichnungen
- Brandgefahr durch IR Strahler; Bestimmen einer oberen Grenzwerttemperatur
- Verbrennungsgefahr durch IR Strahler auf der Rückenlehne (Kinder!)
- Im F/C-Sitz mehr Möglichkeiten an Konzepten (Platzbedarf ist bedeckt)
- B/C-Sitze bieten nicht viel Spielmöglichkeit Systeme zu installieren.
- Detaillierte Angaben sind nur durch Zusammenarbeit mit dem Sitzhersteller zu bekommen.

Folgende Schnittstellen zum Sitz / Flugzeug und Einbauräume sollen verfügbar sein (**EADS 1999**):

- Einbauten im Sitz, der Umgebung des Sitzes, ..., abhängig vom Konzept
- Versorgung des Sitzes
- Luft (Zufuhr/ -Abfuhr)
- El. Leistung (Heiz-Kühl)
- Space Allocation (Platzbelegung) für Systemeinbauten
- Integration Sensorik in Flugzeug (Temp. Sensoren!)
- Platz für Partikel- bzw. Geruchsfilter

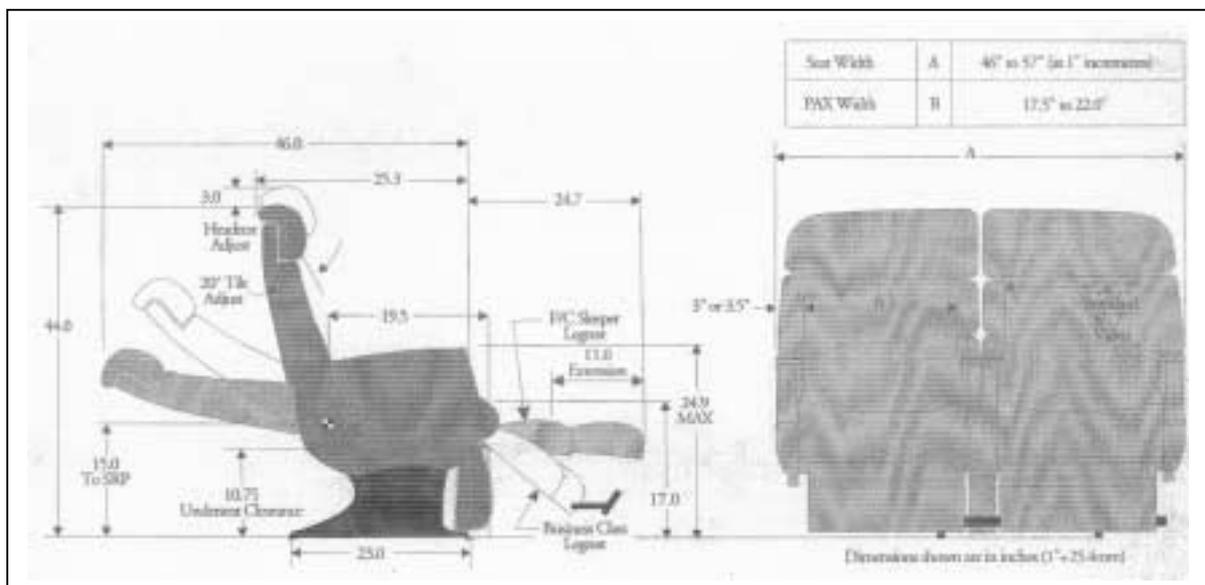


Bild C.16 Weber: Model 7070 First / Business Class Sitz (**Weber**)

C1.2.3 Gewicht

Tabelle C.7 Business und First Class Sitze (EADS Airbus GmbH)

Sitztyp	Single Aisle Gewicht [kg]	Long Range Gewicht [kg]
2er Business Class (pro Pax)	57,3 (28,7)	73,4 (36,7)
	54,5 – 60	72,2 – 74,2
1er First Class		62,2
weitere zusätzliche Ausrüstung		66,5
2er First Class (pro Pax)	102,4 (51,2)	106,6 (53,3)
weitere zusätzliche Ausrüstung	85,4 (42,7)	89,1 (44,6)

Tabelle C.8 Definierte Gewichte für Sitztypen (EADS Airbus GmbH)

Sitztyp	Single Aisle Gewicht [kg]	Long Range Gewicht [kg]
Business Class Sitz (pro Pax)	29	37
First Class Sitz (pro Pax)	62	114

C1.2.4 Einbauort, Anordnung,

Keine zusätzlichen Angaben

C1.2.5 Flexibilität

Tabelle C.9 Daten der Single Aisle und Twin Aisle Airbus Flugzeugen (EADS Airbus GmbH)

Flugzeugtyp A/C	Anzahl der Passagiere n_{pax}	Kabinenlänge l_{Cabin} [m]	Max. Kabinenbreite width of cabin [m]	Max. Kabinenhöhe height of cabin [m]	Rumpfdurchmesser d_{effektiv} [m]
A318	129	21,06	3,696	2,22	3,96
A319	153	23,46	“	“	“
A320	180	27,26	“	“	“
A321-200	220	34,16	“	“	“
A300-600	361	40,70	5,28	2,54	5,64
A310-300	280	33,18	“	2,33	“
A330-200	405	45,46	“	2,54	“
A330-300	440	50,19	“	“	“
A340-200	420	45,46	“	“	“
A340-300	440	50,19	“	“	“
A340-500	440	53,15	“	“	“
A340-600	485	60,44	“	“	“
A3XX-50	608	48,29	6,51 (Hauptdeck) 5,41 (Oberdeck)	2,50 (Hauptdeck) 2,50 (Oberdeck)	7,83
A3XX-100	842	53,37	“	“	7,83
A3XX-200	970	59,72	“	“	7,83

n_{pax} : zulässig höchste Passagierzahl (High Density)

$$d_{\text{effektiv}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_{\text{Querschnitt}}} \quad (1)$$

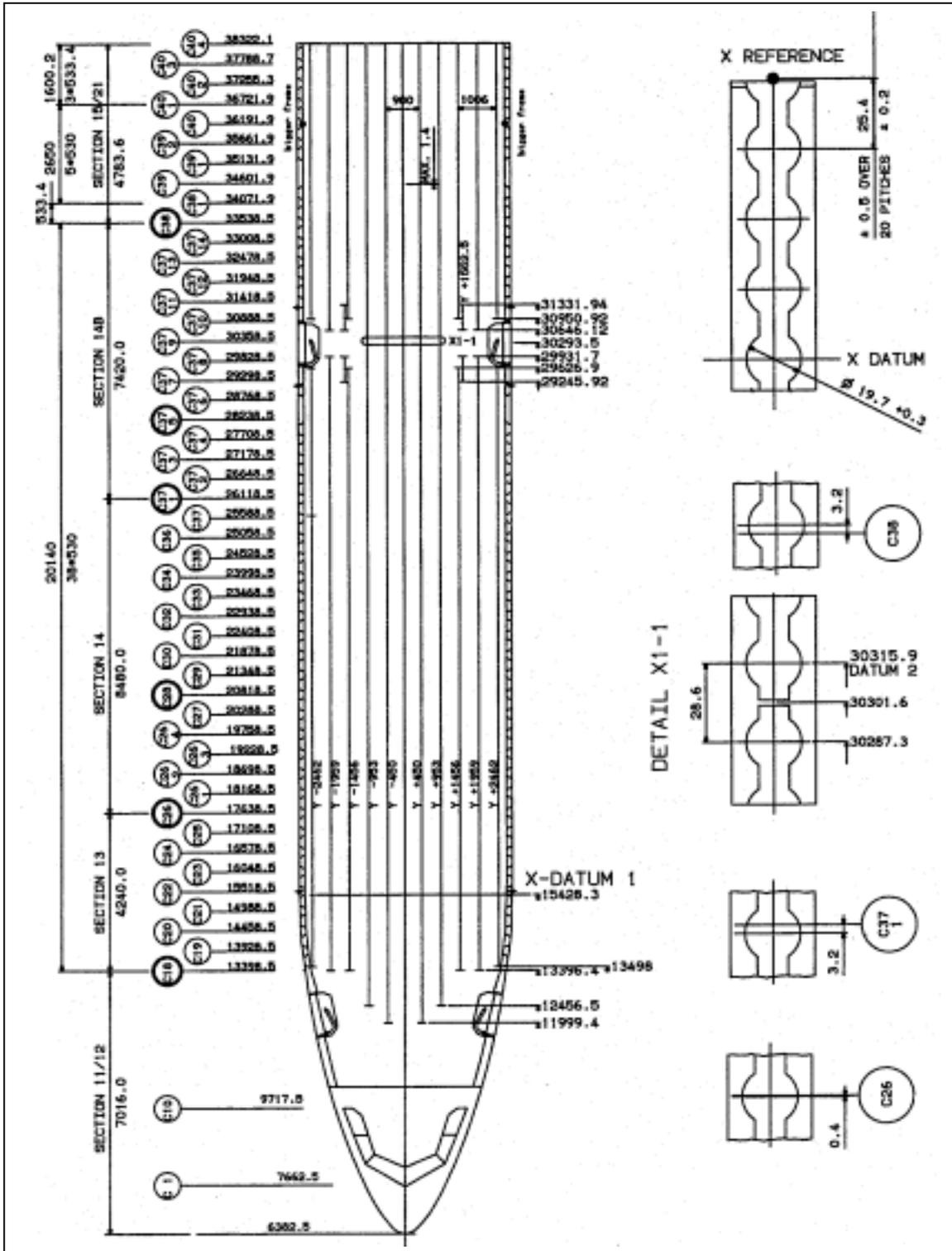


Bild C.17 Sitzschienenanordnung – A340-600 FWD (Airbus 1999a)

C1.3 Sicherheit

C1.3.1 Brandverhalten, Brennbarkeit

Feuerschutz (Airbus 1999a)

JAR 25.853 (Change 13 Appendix F) und ABD 0031 fordern die folgenden Entflammbarkeitseigenschaften:

a) Alle Sitzmaterialien müssen selbstablöschend sein, wenn sie Vertikal in Übereinstimmung mit einer bewährten Methode getestet werden. Die durchschnittliche Brandlänge darf nicht größer sein als 8 inch (203,2mm) und die durchschnittliche Flammzeit nach Entfernung der Flammenquelle darf nicht 15 Sekunden überschreiten. Die heraustropfende Flüssigkeit von dem Probekörper darf nicht mehr als eine durchschnittliche Zeit von 5 Sekunden nach dem auseinanderfallen weiterbrennen. Ref.: JAR 25.853 (b)

b) Sicherheitsgurte und Schultergurte dürfen nicht eine durchschnittliche Verbrennungsgeschwindigkeit größer als 2,5 inch (63,5mm) pro Minute haben, wenn sie Horizontal in Übereinstimmung mit einer bewährten Methode getestet werden. Ref.: JAR 25.853 (b-2)

c) Bis auf kleine Teile (wie z.B.: Knöpfe, Handgriffe, Rollen, Verschlüsse, Klammern, Kunststoff verkleidete Öffnungen, Reibstreifen, Keilriemenscheiben, und kleine elektrische Teile), findet die Behörde, daß diese nicht zur Übertragung von Feuer bedeutsam beitragen würden. Diese kleinen Teile dürfen ein Verbrennungsgeschwindigkeit nicht größer als 4 inch (101,6mm) pro Minute haben, wenn diese Horizontal in Übereinstimmung mit einer bewährten Methode getestet werden. Ref.: JAR 25.853 (b-3)

d) Außerdem müssen die Sitzpolster folgende Kriterien erfüllen, wenn sie mit einem bewährten Methode getestet werden: Die Verbrennungslänge darf nicht größer sein als 17 inch (431,8mm) und der prozentuale Anteil des Gewichtsverlustes darf nach Aussetzung des Sitzpolsters einer Brennflamme für 2 Minuten nicht größer als 10 Prozent sein. Ref.: JAR 25.853 (c)

e) Die Anforderungen an den material test specification ABD 0031 in Bezug auf Emission von Rauch und giftigen (toxischen) Gasen müssen betrachtet und die Bedingungen erfüllt werden.

f) Es ist dem Sitzverkäuferverantwortlichen nachzuweisen, daß die Brennbarkeitsanforderungen von der Zulassungsbehörde für jedes Teil im Sitz verwendet worden sind.

Notiz: Gleich nach mehrmaligen Reinigung der Sitzhüllen ist die Einhaltung aller Anforderungen vorgeschrieben.

C1.3.2 Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit

Folgende Informationen wurden aus dem Dokument **Airbus 1999a** übernommen.

Evakuierung / Notfallsituation

Das System darf nicht im Falle einer Evakuierung im Wege des Passagiers liegen und ihn bei der Flucht nach außen behindern.

Bei Notfallsituationen darf der Kopf und der Oberschenkel des Passagiers durch den Vordersitz nicht verletzt werden.

Der Passagiersitz muß folgende Kräfte aushalten

Statisch:

- Vorwärts 9,0 g
- Seitlich 4,0 g
- Hinten 1,5 g
- Unten 8,6 g
- Oben 5,4 g

Dynamisch:

- Vorwärts/ Seitwärts 16,0 g
- Abwärts/ Vorwärts 14,0 g

Bauteil Überprüfung

Alle Bauteile des Sitzes sind mittels verschiedener Tests mit maximaler Lastkapazität und mit wiederholten Ermüdungstests getrennt zu untersuchen.

Statische und Dynamische Leistung

Statische Kräfte

Sitze sollen so konstruiert und durch Tests oder angemessene Analysen bewiesen werden, daß sie diese folgende Traglastfaktoren (ohne Fehler bei Anfangsbelastung oder Verformungen) aushalten:

Tabelle C.10 Traglasten für Belastungsarten (**Airbus 1999a**)

	to comply with:	Basic data (sources)	
		Emergency Landing Requirements	Max. flight and / or landing loads
load direction		JAR/FAR 25.561 change 13/ amdt. 64	A330-200/-300 A340-200/-300 A340-500/-600
Upward	4,20 gust load	3,00	4,20
Forward	0,00 requirement	9,00	1,40
Sideways	4,00 requirement	4,00*	2,38
Downward	7,30 gust load	6,00	7,30
Rearward	1,50 requirement	1,50	1,08

* Beinhaltet 1.33 fitting factor (Anpassungsfaktor)

Der Statik-Test soll folgendes nachweisen

- a) Der Sitz ist geeignet die Lastvielfachen – limit load (2/3 von ultimate loads) abzustützen ohne davon schädliche und ständig bleibende Verformungen zu bekommen.
- b) Die Struktur ist geeignet, ohne Fehler für mindestens 3 Sekunden, die statischen Traglasten - ultimate static loads aufzunehmen. Wenn man sieht, daß einige Fehler in der Armlehne einer Sitzbaugruppe der Besatzung eine nicht zu vermindern Grade an Sicherheit gewährt, sind solche Fehler nicht als eine Ursache einer Ablehnung anzunehmen.
- c) Nach Verwendung und Veröffentlichung der Traglasten, wie beschrieben in b), sind die Sitze mit ständigen Verformungseinschränkungen begegnet.

Dynamische Stoßkräfte

Sitze und Stützen, als ein System gesehen, sollen so konstruiert und durch Tests oder angemessene Analysen bewiesen werden, daß sie die in AS8049 para. 5.3 vorgeschriebenen dynamischen Kräftebedingungen ohne Anfangslast mit Fehler, einhalten. Verformungen, die die spezifizierten Einschränkungen übertreffen, können bei der Besatzung schwere Verletzungen verursachen.

Der dynamische Test muß ohne Airbus Sitzbefestigungsschienen erfolgen (siehe AS 8049, para. 5.3.3.3 and fig. 9A)

Eine typische Lösung für eine Sitzschienenbefestigung kann man in Bild 3.15 sehr gut sehen. Dennoch, die Unterscheidung von der endgültigen Befestigungslösung gemäß den

dynamischen Testanforderungen an den Sitz, ist die einzige Verantwortung beim Sitzhersteller. Die Sitzbefestigungsschienen oder andere Befestigungszubehör müssen in jedem Flugzeug in denen sie verwendet werden, vertreten sein.

Der dynamische Stoßtest soll nachweisen daß

- a) Im Test die Sitzstruktur durch den Befestigungsteil und die durch die Anfangslast belastete Strukturteile und Zubehör intakt bleiben.
- b) Die Besatzungszurückhaltungssystem fähig bzw. geeignet ist, die dynamischen Lasten zu befördern oder aufzunehmen
- c) Die im Sitz vorkommenden dauerhaften Verformungen innerhalb der quantitativen Grenzen liegen und die Besatzung nicht verhindert wird, sich zu befreien und den Sitzplatz zu verlassen.
- d) Wenn der Passagierkopf während des Tests zusammengepreßt wird, der HIC von 1000 nicht überschritten wird. Einsetzbar nur für Sitze mit Sitzeinrichtungen und nicht für Sitzeinrichtung hinter anderen Strukturen.
- e) Die maximale Druckkraft, gemessen zwischen den Becken und dem Spalt im Rückenmark, auf den Passagier nicht über 6,67 kN (1500 lbs) liegt.
- f) Die Beckenstützen bei den Passagieren die Becken während des Stoßes zurückhalten.
- g) Wo die Beine Kontakt mit Sitz oder anderen Struktur haben, die axiale Druckkraft in jedem Oberschenkel nicht über 10,0 kN (2250 lbs) liegt.
Diese Anforderung kann durch Auswertung auf beruhende Tests zufrieden gestellt werden, d.h. Einhaltung der gleichen Methoden.

C1.3.3 Störanfälligkeit, Dichtigkeit

Keine zusätzlichen Angaben

C1.4 Ergonomie

C1.4.1 Mensch-Maschine-Beziehung

Keine zusätzlichen Angaben

C1.4.2 Design, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung

Keine zusätzlichen Angaben

C1.5 Kontrolle

C1.5.1 Einsatzreife, Realisierbarkeit

Keine zusätzlichen Angaben

C1.6 Montage

C1.6.1 Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit

Keine zusätzlichen Angaben

C1.7 Gebrauch

C1.7.1 Handhabung, Bedienung

Keine zusätzlichen Angaben

C1.7.2 Betriebsverhalten

Anforderungen aus **EADS 1999**:

- Flugphasen: Bei allen Flugfällen (Hot, Cold, ISA) soll die Funktionalität erfüllt sein
- Flugphasen: Bei Flugphasen (T/O, Cruise, Landing) soll die Funktionalität erfüllt sein
- Die unmittelbare Rückwirkung (als unbekannte Störgröße) auf die Regelung der Kabinentemperatur soll vermieden werden
- Eine mittelbare Rückwirkung auf die Regelung der Kabinentemperatur, durch geeignete Informationsaustausch, soll möglich sein
- Regelkreise für individuelle Klima und globales Kabinenklima sollen sich nicht gegenseitig negativ beeinflussen (Wechselwirkung mit anderen Systemen)
- Der Einfluß unterschiedlicher Wärmelasten sollen abgedeckt werden:
 - Sitz besetzt / nicht besetzt
 - IFE
 - Leselicht
- Der instationäre Einfluß lokaler Wärmequellen / -senken soll abgedeckt werden:
 - Sonne
 - Speisen
- Der instationäre Einfluß vor/nach dem Flug soll abgedeckt werden:
 - Boarding
 - Deplaning
- Die Auswirkungen auf den Nachbarsitz sollen möglichst gering sein
- Die Funktion soll unabhängig davon gewährt sein, ob ein Sitz besetzt ist oder nicht
- Das System und seine Teilkomponenten sollen keine Geräusche lauter als PWSIL 54db emittieren

C1.8 Aufwand

C1.8.1 Kosten, Termin

Keine zusätzlichen Angaben

C1.9 Instandhaltung

C1.9.1 Wartung,Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit

Keine zusätzlichen Angaben

C1.10 Recycling

C1.10.1 Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit

Bewertungskriterien hinsichtlich Recyclingfähigkeit nach **Pahl 1997**.

Produktrecycling

- funktionsorientierte Produktstruktur
- Baukastenstruktur
- Komplexität
- Vordemontierbarkeit
- Demontierbarkeit (Materialrecycling)
- zerstörungsfreie Demontierbarkeit
- Reinigungsmöglichkeit
- Prüfbarkeit
- Identifizierbarkeit
- Sortierbarkeit
- Nachbearbeitbarkeit
- Wiedermontierbarkeit
- Austauschbarkeit
- hochgerüstrelevanter Bauteile
- Verschleißerkennung
- Verwendung von Normkomponenten
- Automatisierbarkeit der Arbeitsschritte

Materialrecycling

Demontierbarkeit

- Zahl der Demontageoperationen
- Zahl der Demontagerichtungen
- Zahl der unterschiedlicher Demontageoperationen
- Zahl der Verbindungselemente
- Zahl unterschiedlicher Verbindungselemente
- Zugänglichkeit
- Automatisierbarkeit der Demontage
- Löse-/Trennenergie
- Aufwand an Vorrichtungen
- Zahl notwendiger Demontagewerkzeuge

Trennbarkeit

- Zahl und Aufwand notwendiger Trennverfahrensschritte
- Zahl und Aufwand notwendiger Sonderbehandlungsschritte
- Werkstofferkennungsmöglichkeit
- Zahl zu trennender Werkstoffe
- Zahl nichtverwertbarer Werkstoffe

Verwertbarkeit

- Wiederverwertbarkeit
- Notwendige Verwertungsprozesse
- Gezielte Aufwertungsmöglichkeit
- Rückgewinnungsgrad
- Qualitätsminderung
- Verschmutzungsgrad

C1.11 Fertigung des Prototypenbau

Keine zusätzlichen Angaben

C.2 Bewertungsmatrix

C.2.1 Bewertung F/C

Einzelmaßnahmenbewertung für F/C			Auslegung			
Kriterien	Bewertungskriterien	Summe	Energieverbrauch / -effizienz	Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko	Regelungs- aufwand	Lebensdauer
Einzelmaßnahmen		Rang	2	9	13	20
	Wichtungsfaktor (absolut)	6,9361	0,9690	0,3002	0,0731	0,0004
	Wichtungsverhältnisse		a_{21}	a_{98}	a_{1312}	a_{2019}
			0,969	0,750	0,656	0,344
	Wichtungsfaktor (normiert)	10	1,397	0,433	0,105	0,001
	Normierungsfaktor	10				
1.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	4	2	
1.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.5	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.6	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.7	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.8	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.9	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
2.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	3	2	
2.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	2	2	
2.5	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	3	2	
2.6	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.7	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	3	0	
3.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
3.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
3.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	4	2	
3.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	4	2	



Gestaltung					Sicherheit		
Größe, Lage	Raumbedarf im / am Sitz, im Flugzeug	Gewicht	Einbauort, Anordnung	Flexibilität (A/C, Komfort-Klassen)	Brandverhalten, Brennbarkeit	Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit	Störanfälligkeit, Dichtigkeit
14	3	8	11	15	6	5	18
0,0457	0,9089	0,4003	0,1619	0,0271	0,6305	0,7205	0,0027
a_{1413}	a_{32}	a_{87}	a_{1110}	a_{1514}	a_{65}	a_{54}	a_{1817}
0,625	0,938	0,781	0,719	0,594	0,875	0,875	0,406
0,066	1,310	0,577	0,233	0,039	0,909	1,039	0,004
3	4	3	2	2	3	4	
2	3	2	2	3	2	2	
1	1	1	1	1	2	2	
2	3	2	2	3	2	2	
1	1	1	2	1	2	2	
2	3	2	0	3	2	2	
1	1	1	0	1	2	2	
2	3	2	2	3	2	3	
1	1	1	2	1	2	3	
4	3	4	2	2	3	4	
3	4	3	2	2	2	4	
2	3	2	1	3	2	2	
3	3	4	0	2	3	3	
2	3	2	2	3	2	3	
3	2	3	1	1	3	4	
3	3	4	3	1	3	4	
1	1	1	3	1	2	3	
2	3	2	4	3	2	3	
4	4	4	4	4	3	4	
3	4	4	2	4	2	4	



Ergonomie		Kontrolle	Montage	Gebrauch		Aufwand
Mensch Maschine- Beziehung	Design, Ästhet. Gesichtsp., Formgebung	Einsatzreife, Realisierbarkeit	Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit	Handhabung, Bedienung	Betriebsverhalten	Herstellkosten, Betriebskosten, Termin, Konstruktionsaufwand
12	22	4	16	7	1	10
0,1114	0,0000	0,8235	0,0153	0,5126	1,00	0,2252
a ₁₂₁₁	a ₂₂₂₁	a ₄₃	a ₁₆₁₅	a ₇₆	a ₁₀	a ₁₀₉
0,688	0,125	0,906	0,563	0,813	1,000	0,750
0,161	0,000	1,187	0,022	0,739	1,442	0,325
3		4		3		4
2		2		2		3
2		1		2		2
2		3		3		2
2		1		3		1
1		3		3		3
1		1		3		2
2		3		2		3
2		1		2		2
2		3		3		4
2		2		2		3
1		2		1		3
3		3		1		4
2		2		3		3
1		3		1		3
1		4		0		4
2		1		3		2
2		3		3		3
3		4		3		4
3		4		3		4

Instandhaltung	Recycling	Fertigung des Prototypenbau		
Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit	Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren, Keine Aufwendigen Vorrichtungen, Geringe Zahl einfacher Bauteile, Risikolose Bearbeitung, Serienfertigung		
17	21	19		
0,0067	0,0001	0,0010		
a_{1716}	a_{2120}	a_{1918}		
0,438	0,250	0,375		
0,010	0,000	0,001		
			Nutzwert	Rangfolge
			29,48	3
			20,65	14
			13,20	20
			22,25	11
			13,84	18
			21,95	12
			13,54	19
			22,88	9
			14,47	17
			28,43	4
			24,00	8
			18,87	15
			25,10	6
			20,93	13
			22,30	10
			27,15	5
			15,44	16
			24,08	7
			32,06	1
			31,10	2

Die Excel-Tabellen sind zusammengedrückt. Die Felder, wo die Teilnutzwerte berechnet werden sind nicht sichtbar.

Einzelmaßnahmenbewertung für F/C			Auslegung				Gestaltung			
Kriterien	Bewertungskriterien	Summe	Energieverbrauch / -effizienz	Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko	Regelungsaufwand	Lebensdauer	Größe, Lage	Raumbedarf im / am Sitz, im Flugzeug	Gewicht	Einbaut, Anordnung
Einzelmaßnahmen		Rang	2	9	13	20	14	3	8	11
	Wichtungsfaktor (absolut)	6,9361	0,9690	0,3002	0,0731	0,0004	0,0457	0,9089	0,4003	0,1619
	Wichtungsverhältnisse		a_{21}	a_{98}	a_{1312}	a_{2019}	a_{1413}	a_{32}	a_{87}	a_{1110}
			0,969	0,750	0,656	0,344	0,625	0,938	0,781	0,719
	Wichtungsfaktor (normiert)	10	1,397	0,433	0,105	0,001	0,066	1,310	0,577	0,233
	Normierungsfaktor	10								
1.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	4	2		3	4	3	2
Größere Luftduschen am Hatrack			4,1911	1,7315	0,2107	0,0000	0,1975	5,2417	1,7315	0,4669
1.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3		2	3	2	2
Luftauslässe an der Rückenlehne (Umluft)			4,1911	1,2986	0,3161	0,0000	0,1317	3,9313	1,1543	0,4669
1.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2		1	1	1	1
Luftauslässe an der Rückenlehne mit temperierbarer Zuluft			2,7941	0,4329	0,2107	0,0000	0,0658	1,3104	0,5772	0,2334
1.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3		2	3	2	2
Servicesäule (Umluft)			4,1911	1,2986	0,3161	0,0000	0,1317	3,9313	1,1543	0,4669

C.2.2 Bewertung B/C

Einzelmaßnahmenbewertung für B/C			Auslegung			
Kriterien	Bewertungskriterien	Summe	Energieverbrauch / -effizienz	Stabilität, Zuverlässigkeit, Technisches Risiko	Regelungs-aufwand	Lebensdauer
Einzelmaßnahmen		Rang	2	9	13	20
	Wichtungsfaktor (absolut)	6,9361	0,9690	0,3002	0,0731	0,0004
	Wichtungsverhältnisse		a_{21}	a_{98}	a_{1312}	a_{2019}
			0,969	0,750	0,656	0,344
	Wichtungsfaktor (normiert)	10	1,397	0,433	0,105	0,001
	Normierungsfaktor	10				
1.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	4	2	
1.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.5	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.6	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.7	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
1.8	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
1.9	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
2.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	3	2	
2.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	2	2	
2.5	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	3	2	
2.6	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	2	1	
2.7	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	3	0	
3.1	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	2	1	2	
3.2	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	3	3	3	
3.3	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	4	2	
3.4	Bewertungsskala: 0.....4	Bewertung:	4	4	2	



Gestaltung					Sicherheit		
Größe, Lage	Raumbedarf im / am Sitz, im Flugzeug	Gewicht	Einbauort, Anordnung	Flexibilität (A/C, Komfort-Klassen)	Brandverhalten, Brennbarkeit	Crash-Sicherheit, Crashfähigkeit	Störanfälligkeit, Dichtigkeit
14	3	8	11	15	6	5	18
0,0457	0,9089	0,4003	0,1619	0,0271	0,6305	0,7205	0,0027
a_{1413}	a_{32}	a_{87}	a_{1110}	a_{1514}	a_{65}	a_{54}	a_{1817}
0,625	0,938	0,781	0,719	0,594	0,875	0,875	0,406
0,066	1,310	0,577	0,233	0,039	0,909	1,039	0,004
3	4	3	2	2	3	4	
2	2	2	3	3	2	2	
1	0	1	2	1	2	2	
2	2	2	2	3	2	2	
1	0	1	2	1	2	2	
2	2	2	0	3	2	2	
1	0	1	0	1	2	2	
2	2	2	2	3	2	3	
1	0	1	2	1	2	3	
4	3	4	2	2	3	4	
3	4	3	2	2	2	4	
2	2	2	2	3	2	2	
3	2	4	2	2	3	3	
2	2	2	2	3	2	3	
3	2	3	1	1	3	4	
3	3	4	3	1	3	4	
1	0	1	3	1	2	3	
2	2	2	4	3	2	3	
4	4	4	4	4	3	4	
3	4	4	2	4	2	4	

Ergonomie		Kontrolle	Montage	Gebrauch		Aufwand
Mensch-Maschine-Beziehung	Design, Ästhet. Gesichtsp., Formgebung	Einsatzreife, Realisierbarkeit	Zugänglichkeit, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit	Handhabung, Bedienung	Betriebsverhalten	Herstellkosten, Betriebskosten, Termin, Konstruktionsaufwand
12	22	4	16	7	1	10
0,1114	0,0000	0,8235	0,0153	0,5126	1,00	0,2252
a_{1211}	a_{2221}	a_{43}	a_{1615}	a_{76}	a_{10}	a_{109}
0,688	0,125	0,906	0,563	0,813	1,000	0,750
0,161	0,000	1,187	0,022	0,739	1,442	0,325
3		4		3		4
2		2		3		3
2		0		3		2
2		2		3		2
2		0		3		1
1		2		3		3
1		0		3		2
2		2		2		3
2		0		2		2
2		3		3		4
2		2		2		3
1		2		2		3
3		3		2		4
2		2		3		3
1		3		1		3
1		4		0		4
2		0		3		2
2		2		3		3
3		4		3		4
3		4		3		4

Instandhaltung	Recycling	Fertigung des Prototypenbau		
Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austauschbarkeit, Prüfbarkeit	Demontierbarkeit, Trennbarkeit, Verwertbarkeit	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren, Keine Aufwendigen Vorrichtungen, Geringe Zahl einfacher Bauteile, Risikolose Bearbeitung, Serienfertigung		
17	21	19		
0,0067	0,0001	0,0010		
a_{1716}	a_{2120}	a_{1918}		
0,438	0,250	0,375		
0,010	0,000	0,001		
			Nutzwert	Rangfolge
			29,48	3
			20,31	11
			11,67	18
			19,75	12
			11,35	19
			19,45	14
			11,04	20
			20,38	10
			11,97	17
			28,43	4
			24,00	7
			18,54	15
			25,00	6
			19,62	13
			22,30	8
			27,15	5
			12,94	16
			21,58	9
			32,06	1
			31,10	2

