

Studienarbeit

„Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der Kosten für die Instandhaltung der Flugzeugzellen und -systeme im kommerziellen Flugverkehr“

Arbeit wurde aus Gründen
der Vertraulichkeit gekürzt!

vorgelegt an der
Technischen Universität Berlin
Fachgebiet Luftfahrzeugbau/Leichtbau

Carsten Mildt
Matrikelnummer: 17 57 17
Abgabetermin: 25.07.2000

Vorwort

Diese Studienarbeit ist für das Institut für Luft- und Raumfahrt im Fachgebiet Luftfahrzeugbau und Leichtbau der TU Berlin mit Unterstützung von Airbus Industries und der Deutschen Lufthansa AG angefertigt worden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Wagner, Herrn Dipl.-Ing. Repp, Herrn Dipl.-Ing. Störk und Herrn Dipl.-Ing. Gaag für die fachliche und unterstützende Begleitung.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines.....	1
1.2 Erläuterungen zum Thema.....	1
1.3 Ziele.....	1
1.4 Vorgehensweise.....	1
2 Finanzielle Struktur einer Fluggesellschaft	2
2.1 Allgemeines.....	2
2.2 Betriebskosten einer Fluggesellschaft	2
2.3 Modelle zur Beschreibung der direkten Betriebskosten	3
2.3.1 Allgemeines	3
2.3.2 Übersicht <i>DOC</i> -Methoden	4
3 Instandhaltungskosten.....	7
3.1 Entstehung der Instandhaltungskosten.....	7
3.2 Definition der Instandhaltungsmaßnahmen	7
3.2.1 Allgemeines	7
3.2.2 Planbare und nicht planbare Instandhaltung (<i>routine/non routine maintenance</i>).....	8
3.3 Instandhaltungskostenmodelle	10
3.3.1 Allgemeines	10
3.3.2 Modelle der fixen Instandhaltungskosten	10
3.3.3 Modelle der variablen Instandhaltungskosten (<i>DMC</i> -Modelle)	11
3.3.4 Modelle der variablen Instandhaltungskosten der Zelle und Struktur	11
3.4 Vergleich der Instandhaltungskostenmodelle.....	18
4 Modellbildung	20
4.1 Die Datenquelle.....	20
4.1.1 Allgemeines	20
4.1.2 Nutzen und Hintergrundinformation zur <i>IATA PPM</i> Datenbank	20
4.1.3 Umfang und Abdeckung der Kostenanteile der <i>IATA PPM</i> Daten	20
4.1.4 Genauigkeitsabschätzung und Zuverlässigkeit der Quelle	21
4.1.5 Quellenanalyse.....	21
4.1.6 Parameterauswahl.....	24
4.2 Durchführung der Regression.....	25
4.2.1 Nutzen des Modells	25
4.2.2 Statistische Grundlagen.....	25
4.2.3 Die Kostenmodellierung.....	26
5 Anpassung und Verifizierung des <i>IATA PPM</i> Modells	33
5.1 Allgemeines.....	33
5.2 Vergleichbarmachung der 1996er <i>IATA PPM</i> Regressionsformel.....	33
5.3 Vergleich und Anpassung des Modells an die Instandhaltungskosten internationaler Fluggesellschaften	34

5.4 Vergleich des <i>IATA PPM</i> Modells mit der Lufthansa <i>DMC</i> -Methode 1994	36
5.4.1 Allgemeines	36
5.4.2 Verifizierung des <i>IATA PPM</i> Modells durch die Lufthansa 1994 Methode.....	36
5.4.3 Anpassung der Lufthansa 1994 Methode	38
5.5 Lufthansa Instandhaltungsgeneralvertrag 1999	40
5.5.1 Inhalt des Vertrags	40
5.5.2 Glättung der Überholungseignisse	41
5.5.3 Der zeitliche Aspekt beim Vergleich internationaler Instandhaltungskosten	42
6 Fazit	43
6.1 Allgemeines.....	43
6.2 Diskussion der Ergebnisse der Studienarbeit.....	43
6.3 Ausblick	43
6.3.1 Verwendung von mehreren unabhängigen Datenquellen.....	43
6.3.2 Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren für die Modellbildung.....	44
6.3.3 Veränderung der Modellarchitektur	44
7 Literaturverzeichnis.....	45
8 Anhang	46

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Rechnungswesen einer Fluggesellschaft.....	2
Abb. 2.2: Betriebskostenanteile eines Kurzstreckenflugzeugs.....	3
Abb. 2.3: Betriebskostenanteile eines Langstreckenflugzeugs.....	3
Abb. 2.4: Wirtschaftlichkeitsparameter der DOC-Methoden.....	4
Abb. 2.5: ATA 1967 DOC-Methode.....	5
Abb. 2.6: JADC 1998 DOC-Methode.....	6
Abb. 2.7: Lufthansa 1994 DOC-Methode.....	6
Abb. 3.1: Verlauf der Kosten für geplante und ungeplante ISH.....	9
Abb. 3.2: Entwicklung der B727-Wartungsintervalle.....	9
Abb. 3.3: Struktur der ISH-Kostenmodelle.....	11
Abb. 3.4: Größenfaktor der ATA 1967 DMC-Methode.....	12
Abb. 3.5: Größenfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode.....	15
Abb. 3.6: Dienstaltermfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode.....	15
Abb. 3.7: Flugzyklusfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode.....	15
Abb. 3.8: Entwicklungsaltersfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode.....	15
Abb. 3.9: Rationalisierungsgrad der Lufthansa 1994 DMC-Methode.....	16
Abb. 3.10: Anteile der Ereigniskosten der ISH nach Dechow.....	17
Abb. 3.11: Modellerte Arbeitsstunden.....	19
Abb. 3.12: Modellerte Materialkosten.....	19
Abb. 3.13: Modellerte Gesamt-ISH-Kosten.....	19
Abb. 3.14: Angepasste ISH-Kosten.....	20
Abb. 4.1: Vergleich der Beschäftigung der IATA PPM und Lufthansa 1996 Daten.....	22
Abb. 4.2: Reifefaktor des IATA PPM.....	23
Abb. 4.3: Aufteilung der Fremdleistungen.....	27
Abb. 4.4: Summenmodell 1.....	27
Abb. 4.5: Summenmodell 2.....	27
Abb. 4.6: Gesamtkostenmodell.....	27
Abb. 4.7: Standardisierte Fehler bei der Varianzanalyse.....	28
Abb. 4.8: Verlauf der partiellen Korrelationskoeffizienten bei der Varianzanalyse des Gesamtkostenansatzes.....	28
Abb. 4.9: Signifikanzniveau der Variablen im Gesamtkostenansatz.....	29
Abb. 4.10: Verlauf des MTOW.max.airline-Faktors.....	29
Abb. 4.11: Verlauf des utilisation-Faktors.....	30
Abb. 4.12: Verlauf des Dienstalterm-Faktor.....	30
Abb. 4.13: Verlauf des Entwicklungsalter-Faktor.....	30
Abb. 4.14: Verlauf des Triebwerksanzahl-Faktors.....	30
Abb. 4.15: Verlauf des Flottengrößen-Faktors.....	30
Abb. 4.16: Vergleich der angepassten Real- und der Modellkosten.....	31
Abb. 4.17: ISH-Kostenvergleich.....	32
Abb. 4.18: ISH-Kostenvergleich von europ. Fluggesellschaften.....	32
Abb. 5.1: Veranschaulichung der Auswertung der Ergebnisse.....	33
Abb. 5.2: Gegenüberstellung von Ist- und Modellkosten der ISH.....	35
Abb. 5.3: Anteil der Triebwerkskosten an den Gesamtkosten.....	36
Abb. 5.4: Trend der Größenfaktoren.....	36
Abb. 5.5: Trend der Dienstaltermfaktoren.....	36
Abb. 5.6: Trend der Entwicklungsaltersfaktoren.....	37
Abb. 5.7: utilisation über der Flugzeit.....	37
Abb. 5.8: Trend des Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisses.....	37
Abb. 5.9: Verlauf der Stundensätze des IATA PPM.....	38
Abb. 5.10: Preissteigerung der IATA PPM Kosten.....	39
Abb. 5.11: Veränderung der Kostenanteile durch den Eskalationseinfluss.....	39
Abb. 5.12: Vergleich des IATA PPM und des dynamischen Lufthansa DMC-Modells.....	39
Abb. 5.13: Verlauf der geglätteten Überholungskosten.....	41
Abb. 5.14: Aufteilung der IGV-Kosten.....	41
Abb. 5.15: Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1999.....	42
Abb. 5.16: Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1996.....	42

 Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: ISH-Ereignisse und deren Umfang.....	8
Tab. 3.2: Intervalle und Umfang der ISH-Ereignisse.....	9
Tab. 3.3: Fixkostenabdeckung der <i>DOC</i> -Modelle.....	10
Tab. 3.4: Einflussparameter der <i>ATA 1967 DMC</i> -Methode.....	12
Tab. 3.5: Einflussfaktoren der <i>ATA 1967 DMC</i> -Methode.....	12
Tab. 3.6: Einflussparameter der Lufthansa 1994 <i>DMC</i> -Methode.....	14
Tab. 3.7: Einflussfaktoren der Lufthansa 1994 <i>DMC</i> -Methode.....	14
Tab. 3.8: Erläuterung zu den Termen in der Dechow-Methode.....	17
Tab. 3.9: Einflussparameter der Dechow-Methode.....	17
Tab. 3.10: Betriebsparameter der Beispielrechnung.....	18
Tab. 3.11: Einflussparameter der Beispielrechnung.....	18
Tab. 3.12: Arbeits- und Materialkostenanteile der Dechow-Methode.....	18
Tab. 4.1: Unterschiede der A300 Versionen.....	23
Tab. 4.2: Eingangsparameter mit Minimum und Maximum.....	25
Tab. 4.3: Standardisierte Fehler der Regressionsmodelle.....	28
Tab. 5.1: <i>line maintenance</i> Anteil Kurzstrecke.....	34
Tab. 5.2: <i>line maintenance</i> Anteil Langstrecke.....	34
Tab. 5.3: Eskalationsraten.....	39
Tab. 5.4: Abweichungen zwischen dem <i>IATA PPM</i> und dem dynamischen Lufthansa <i>DMC</i> -Modell.....	39
Tab. 5.5: Prozentuale Abweichungen der Kosten zwischen IGV und <i>IATA PPM</i> Modell.....	42

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Das Thema Luftverkehr beinhaltet generell sehr viele englische Fachausdrücke. Oft werden diese als „neudeutsche“ Begriffe im Textfluss verwendet, und der Leser weiß häufig nicht mehr, in welcher Sprache der Text eigentlich verfasst worden ist. So sind gerade im Luftfahrtbereich deutsche Wörter im Zuge der Globalisierung und Internationalisierung weitestgehend ausgestorben.

In dieser Arbeit wird soweit wie möglich auf die Verwendung englischer Begriffe verzichtet. Dieses ist nicht immer gelungen, da für einige Begriffe, wie z.B. *line maintenance*, keine passende deutsche Vokabel gefunden werden konnte. Um dennoch deutlich vorzuheben, dass es sich bei den verwendeten Vokabeln um englische Begriffe handelt, sind diese *kursiv* gedruckt und konsequent (bis auf einige Variablenbezeichnungen und Eigennamen) klein geschrieben.

Verweise zu Kapiteln (*Kap.*), Abbildungen (*Abb.*), Tabellen (*Tab.*) und dem Anhang (*siehe Anhang*) sind ebenfalls kursiv gehalten. Das sehr oft verwendete Wort „Instandhaltung“ wird folgend mit ISH abgekürzt.

1.2 Erläuterungen zum Thema

Die Instandhaltungskosten (ISH-Kosten) haben mit rd. 10 bis 15% einen großen Einfluss auf die direkten Betriebskosten einer Fluggesellschaft. Bei der finanziellen Bewertung von Flugzeugen und Flugzeugentwürfen im kommerziellen Luftverkehr stellen sie deshalb ein wichtiges Maß bei der Bestimmung der Wirtschaftlichkeit dar. Ein Großteil (60-80%) der ISH-Kosten sind Aufwendungen für Zelle und Systeme.

Die Abschätzung der Kosten basierte bisher auf der Erfassung der in der Fluggesellschaft tatsächlich entstandenen Kosten. Im Zuge der Liberalisierung des Luftverkehrs entstanden in zunehmender Zahl Dienstleistungsunternehmen, die die ISH für die Fluggesellschaften durchführen. Diese ISH-Unternehmen bieten ihre Leistungen größtenteils zu Komplettpreisen an, die in keinem Zusammenhang zu den Kosten stehen, sondern von der jeweiligen Marktsituation abhängig sind.

1.3 Ziele

Es soll ein grundlegend neuer Weg für die Gestaltung einer anwendbaren und hinreichend genauen Methodik zur Abschätzung der ISH-Kosten gesucht werden. Eine Möglichkeit dazu bietet die folgende *top-down*-Vorgehensweise:

- Herleitung der signifikanten Einflussparameter und deren Einflusstrends mit Hilfe einer vergleichenden Untersuchung der gegenwärtig in der Industrie und bei

den Fachorganisationen (Industrie- und Fluggesellschafts-Verbände, wie *JADC*, *ATA*) angewendeten Methoden.

- Bestimmung des Kostenniveaus für den ISH-Aufwand mit Hilfe der Analyse jährlicher Erhebungen wie dem *IATA Product Performance Measurement (PPM)*.
- Ableitung einer Regressionsfunktion für die ISH-Kosten der Flugzeugzelle und der -systeme sowie Verifizierung der Formel an anderen Modellen bzw. Datenquellen.
- Beurteilung der im Jahre 1999 bezahlten ISH-Preise der Lufthansa AG an die Lufthansa Technik AG im Rahmen des Instandhaltungsgeneralvertrags (IGV).

1.4 Vorgehensweise

Zur wissenschaftlichen Bearbeitung des Themas sind die folgenden Punkte durchgeführt worden.

- Aufstellung der Kostensystematik für die direkten Betriebskosten (*DOC*) von Verkehrsflugzeugen, sowie die Abgrenzung der Zellen- und System-ISH-Kosten;
- Recherche zur Ermittlung der in der industriellen Praxis verwendeten Verfahren;
- Vergleichende Bewertung dieser Verfahren anhand von Beispielrechnungen;
- Diskussion der Einflusstrends der operationellen und Hauptentwurfs-Parameter;
- Auswahl, Sichtung und Bearbeitung einer Datenquelle (*IATA PPM*) zur Ermittlung der ISH-Kostengrößen von Luftverkehrsgesellschaften;
- Ermittlung eines Trendansatzes auf Basis der *IATA PPM* Daten;
- Anwendung des Trendansatzes zur Ermittlung des Kostenniveau-Faktors;
- Vergleich des ermittelten Modells mit den Kostendaten des IGV aus dem Jahr 1999;
- Diskussion der Ergebnisse.

2 Finanzielle Struktur einer Fluggesellschaft

2.1 Allgemeines

Mit der Leistungserstellung eines Unternehmens sind Kosten verbunden. Diese Kosten werden nach bestimmten Kriterien eingeteilt und zugeordnet. Es existieren in der Praxis mehrere empfehlende Vorgaben für die Strukturierung der Betriebskosten im Rechnungswesen einer Fluggesellschaft, die durch die *International Civil Aviation Organisation (ICAO)* oder das *Civil Aeronautics Board (CAB)* aufgestellt wurden. Ein Querschnitt der Vorgaben ist in *Abb. 2.1: Rechnungswesen einer Fluggesellschaft* dargestellt.

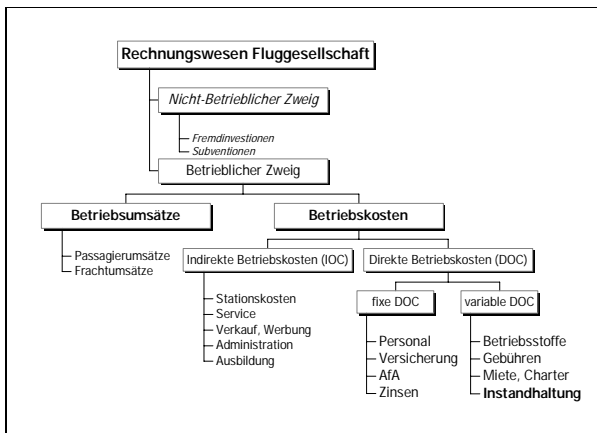


Abb. 2.1: Rechnungswesen einer Fluggesellschaft

Wie in *Abb. 2.1: Rechnungswesen einer Fluggesellschaft* zu erkennen ist, unterscheidet man in einen betrieblichen und in einen nichtbetrieblichen Bereich. Im letzteren finden sich Geschäftsaktivitäten, die nicht zum eigentlichen Geschäftsfeld einer Fluggesellschaft gehören.

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird sich auf den betrieblichen Bereich beschränkt: Die Leistungserstellung durch den Betrieb von Flugzeugen.

Dabei entstehen sogenannte Betriebskosten. Diese müssen für ein wirtschaftliches Unternehmen durch Umsätze - Verkauf von Flugtickets und/oder Frachtkapazität - gedeckt werden.

2.2 Betriebskosten einer Fluggesellschaft

Grundsätzlich kann man die Betriebskosten (*total operating costs, TOC*) in direkte (*direct operating costs, DOC*) und indirekte (*indirect operating costs, IOC*) unterteilen. Am Beispiel einer Fluggesellschaft können dafür folgende Definitionen gegeben werden.

- **DOC:** Kosten, die unmittelbar mit dem Betrieb eines Fluggeräts in Verbindung stehen. Sie sind einem Kostenverursacher somit direkt zuzuordnen.

- **IOC:** Kosten, die nicht unmittelbar einem Verursacher zuzuordnen sind und unabhängig vom verwendeten Flugzeugtyp sind.

So zählen zu den direkten Betriebskosten Aufwendungen für:

- **Personal:** Lohnkosten für Cockpit- und Kabinenbesatzung sowie Spesen,
- **Betriebsstoffe:** Kosten für Treibstoff, Öl und sonstige Stoffe wie z.B. Hydraulikflüssigkeit und Kühlmittel,
- **Gebühren:** Flugsicherungs-, Lande- und Abfertigungsgebühren,
- **Versicherung:** Kosten für die Haftpflichtversicherung der Fluggeräte,
- **Miete und Charter:** Kosten für die Bereitstellung und Nutzung von Fremdfluggeräten,
- **Instandhaltung (ISH):** Kosten für die Wartung und Überholung von Fluggeräten,
- **AfA:** „Absetzung für Abnutzung“, Abschreibungskosten für die Wertminderung des Fluggeräts,
- **Finanzierung:** Zinskosten für die Betriebsgeräte

und für die indirekten Betriebskosten Aufwendungen für:

- **Stationen:** Kosten für Bodenpersonal, Fahrzeuge und Geräte, darin enthalten ist auch der **Fixkostenanteil des Wartungsbetriebs**,
- **Service:** Kosten für die Passagierbetreuung am Flughafen und im Flugzeug,
- **Verkauf und Werbung:** Kosten für die Ticketausstellung, Agenturprovisionen sowie Werbung,
- **Administration:** Organisations-, Verwaltungs- und Gemeinkosten,
- **Ausbildung:** Kosten für die Ausbildung und Schulung von Mitarbeitern.

Bei der Einteilung der Kosten nach den oben genannten Verfahren herrscht keinesfalls Gleichartigkeit. So rechnet z.B. die *ICAO* die Abfertigungs- und Flugsicherungsgebühren zu den Stationskosten hinzu, während das *CAB* die Miet- und Charterkosten zu den Abschreibungskosten (AfA) zählt.

Eine andere Differenzierung der Kostenarten kann durch Erläuterung der **fixen** und **variablen Kosten** gemacht werden. Diese Anteile werden immer dann wichtig, wenn ein Produktionsmittel verschiedene Stückzahlen erzeugt. Im Falle einer Fluggesellschaft ist das die Flugzeugbeschäftigung. Sie wird bestimmt durch die Anzahl der Flugstunden, die es pro Jahr in Benutzung ist und wird als *utilisation* bezeichnet.

Die *utilisation* kann als Funktion der durchschnittlichen Flugzeit angesehen werden.

So ändern sich mit der *utilisation* nur die variablen Kosten. Der Fixkostenanteil bleibt dabei konstant. So sind Abschreibungs-, Finanzierungskosten und Versicherungsgebühren fixe Kosten, da sie unabhängig davon sind, ob ein Flug 2 oder 5 Stunden dauert. Klassische variable Kosten sind die Treibstoffkosten. Wie sich die Anteile für Kurz- und Langstreckenflugzeuge unterscheiden, ist in den beiden folgenden *Abb.* dargestellt.

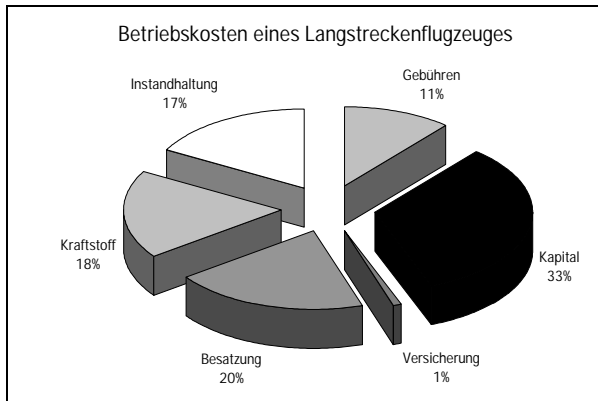


Abb. 2.2: Betriebskostenanteile eines Kurzstreckenflugzeuges

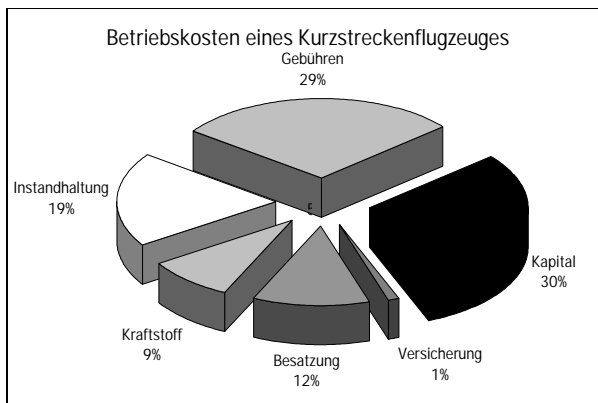


Abb. 2.3: Betriebskostenanteile eines Langstreckenflugzeugs

Da es wenig aussagekräftig ist, totale Kostengrößen (*TOC*) miteinander zu vergleichen, werden fixe und variable Kosten im Luftverkehr sehr häufig auf die Flugstunden bezogen. In diesem Fall sind die fixen Kosten nicht mehr als eine Funktion der Auslastung konstant, sondern ändern sich stark mit der *utilisation*. Die variablen Kostenanteile ändern sich wenig, da sie meistens pro Flugstunde annähernd konstant bleiben.

2.3 Modelle zur Beschreibung der direkten Betriebskosten

2.3.1 Allgemeines

Verwendung

Um entstehende Betriebskosten abschätzen zu können, sind Betriebskostenmodelle entwickelt worden, sogenannte **DOC-Methoden**. Diese *DOC*-Methoden dienen den Fluggesellschaften auf zweierlei Hinsicht:

Sie geben je nach Detaillierungsgrad und Genauigkeit Auskunft - nach Entstehungsgrund und -höhe - über entstehende Kosten durch den Betrieb von Flugzeugen und helfen somit bei der Unternehmenssteuerung. Da eine Vielzahl solcher Modelle existieren und alle von anderen Grundlagen ausgehen, sind die Ergebnisse der Rechnungen oft sehr unterschiedlich.

Der Grund dafür ist in der Verschiedenartigkeit der Kostenstruktur, Bilanzierungsmethodik sowie der *ISH-Philosophie*¹ der einzelnen Fluggesellschaften zu sehen. Es ist unmöglich, alle Unterschiede zu modellieren. Dieses wird in den nachfolgenden Kapiteln noch eingehend behandelt.

Vielmehr ist es sinnvoll, diese *DOC*-Methoden dahingehend einzusetzen, den Betrieb eines bestimmten Flugzeugmusters nach **finanziellen Aspekten** zu beurteilen (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung). Man kann somit Aussagen treffen, welche Art von Fluggerät am günstigsten anzuschaffen und einzusetzen ist. Weiterhin ergibt sich dabei die Möglichkeit zum Vergleich konkurrierender Flugzeugmuster. Der letztgenannte Aspekt ist der häufigste Grund für die Durchführung von *DOC*-Rechnungen. Dabei ist zu beachten, dass bei dieser Form der Bewertung nur kostenrelevante Aspekte Berücksichtigung finden. Unterschiede in Qualität, Betrieb und Technik, wie z.B.

- ein größerer Rumpfdurchmesser,
- Maßnahmen zur Verringerung der *turn-around*-Zeit,
- Maßnahmen zur Verringerung der *ISH*-Aufwendungen durch eingebaute Wartungs-Unterstützungssysteme (*BITE*³),
- empfundener Passagierkomfort oder
- eine potentiell größere Reichweite

finden in *DOC*-Rechnungen keine Berücksichtigung.

¹ Unter der *ISH-Philosophie* versteht man die Grundsätze eines Luftfahrtunternehmens, nach denen *ISH*-Maßnahmen umgesetzt werden.

²Zeit für Entladen, Säubern und Wiederbeladen des Flugzeugs

³*BITE* für *built-in-test-equipment* (= engl. für eingebautes Überprüfungsgerät)

Auswertung

Als Ergebnis solcher Kalkulationen bezieht man die Betriebskosten auf:

- Blockstunde⁴ (DM/h),
- Flugstrecke (DM/km),
- Flug (DM/Zyklus),
- Sitzplatz und Flugstrecke (DM/Passagier-km),
- äquivalenten⁵ Sitzplatz und Strecke (DM/Passagier-km).

Dies sind die Wirtschaftlichkeitsparameter, die die Grundlage der finanziellen Flugzeugbewertung darstellen. Einige dieser Größen sind in *Abb. 2.4: Wirtschaftlichkeitsparameter der DOC-Methoden* dargestellt.

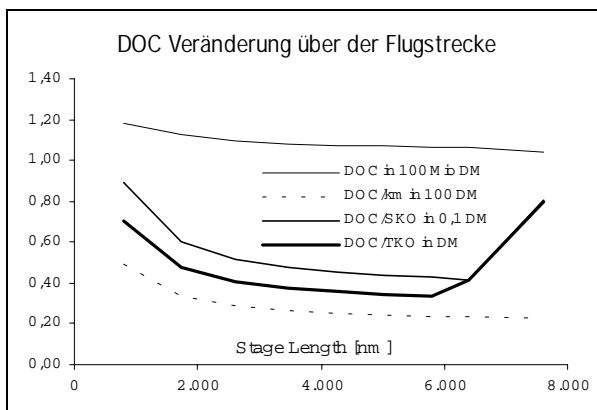


Abb. 2.4: Wirtschaftlichkeitsparameter der DOC-Methoden

Die Werte im Diagramm stammen aus einer *DOC*-Berechnung für den A3XX. Dort sind die direkten Betriebskosten über der Streckenlänge (*stage length [nm]*⁶) dargestellt. Der oberste Plot zeigt die Betriebskosten in 100 Mio. DM pro Jahr. Die zu unterst liegende Kurve ist bereits auf die Streckenlänge von einem km bezogen und in 100 DM angegeben. Die für die Beurteilung der Kosten pro transportierter Kapazität relevanten Größen befinden sich in der Mitte. Der Knick der Kurven nach ihrem Minimalwert ist dadurch zu erklären, dass nach Vergrößerung der Flugstrecke, angebotene Sitzplätze bzw. Frachtkontainer aufgegeben werden müssen, um deren Masse für weiteren Kraftstoff zu substituieren. Die Reichweite mit den geringsten *DOC* ist die Ausleuchtungsreichweite eines Verkehrsflugzeugs.

Bei der nun folgenden Vorstellung der *DOC*-Methoden kann man weiterhin zwischen **allgemeinen** Methoden und **fluggesellschaftsspezifischen** Methoden unterscheiden.

⁴Blockstunde, Zeit vom Schließen bis zum Öffnen der Kabinentüren (potentielle Betriebszeit)

⁵Dabei wird Fracht direkt in Passagiere umgerechnet.

⁶ nm für *nautic mile* (= engl. für Seemeile) = 1,852 km

So wurden im Laufe der Zeit von vielen Luftverkehrsverbänden⁷ und Luftfahrzeugherstellern⁸ allgemeine Modelle zur Kostenbestimmung entwickelt. Fluggesellschaften - sowie z.B. die Lufthansa - haben - basierend auf den firmenspezifischen Gegebenheiten - eigene Kostenmodelle entwickelt. Das Modell der Lufthansa ist wesentlich komplexer, allerdings nur im Rahmen des eigenen Unternehmens anwendbar.

Standardisierung

Um die Ergebnisse von Betriebskostenkalkulationen vergleichbar machen zu können, rechnet man in den *DOC*-Methoden mit standardisierten Parametern. So werden z.B. feste Annahmen in betrieblicher Hinsicht über:

- Bestuhlung,
- Flugprofile,
- Routen,
- Streckennetz,
- Flottengröße,
- ISH-Philosophie

sowie in finanzieller und bilanzieller Hinsicht über:

- Finanzierung (Zinsen),
- Abschreibungsmodalitäten (Bilanzpolitik),
- und Versicherungsprämien

getroffen.

2.3.2 Übersicht *DOC*-Methoden

2.3.2.1 Allgemeines

Die nachfolgend behandelten *DOC*-Methoden sind bewusst ausgewählt worden. Es soll auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen hingewiesen werden. Allgemeine *DOC*-Methoden gehen von standardisierten Annahmen über eine durchschnittliche internationale Fluggesellschaft aus, während die fluggesellschaftsspezifischen die Kostenstrukturen der Betreiber widerspiegeln. Die für den Inhalt dieser Arbeit relevanten variablen ISH-Kosten, die eingehend in *Kapitel 3.3.4 Modelle der variablen Instandhaltungskosten der Zelle und Struktur* behandelt werden, sind in den folgenden Abb. zum Aufbau der *DOC*-Methoden fett gedruckt.

⁷Air Transport Association of America (ATA), Association of European Airlines (AEA), Japanese Aircraft Development Corporation (JADC)

⁸The Boeing Company (TBC), Airbus Industries (AI)

2.3.2.2 Air Transport Association of America 1967 (ATA 1967 DOC-Methode)

Hintergrund

Dieses Modell ist Nachfolger der ersten allgemein anerkannten Methode zur Abschätzung der direkten Betriebskosten. Sie wurde 1944 von der *Air Transport Association of America* veröffentlicht und basierte ausschließlich auf den Auswertungen statistischer Erhebungen des Flugzeugtyps *Douglas DC-3*. Bis 1967 wurde sie mehrmals an die neuen Kostenstrukturen und Technikentwicklungen (wie z.B. die Einführung der Strahltriebwerke) angepasst.

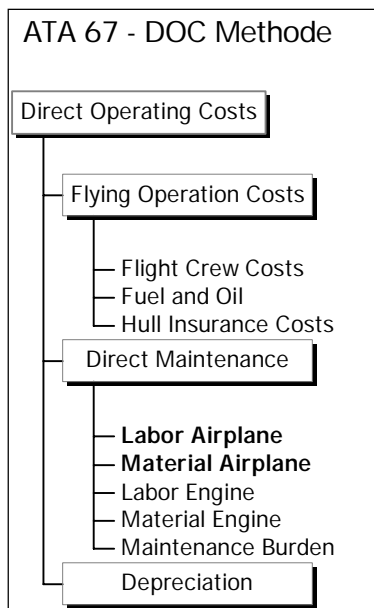


Abb. 2.5: ATA 1967 DOC-Methode

Inhalt

Das Verfahren unterteilt in Kosten für

- Flugbetrieb (*flying operations*),
- Direkte Wartung (*direct maintenance*),
- Abschreibung (*depreciation*).

Im Verfahren wird zwischen Lang- und Kurzstreckenbetrieb unterschieden. Alle Kosten werden in US\$ *per statue mile*⁹ angegeben. Der Bezug pro Kapazität, Entfernung oder Betriebszeit wird nicht hergestellt.

Besonderheiten

In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass die Kosten für die Kabinenbesatzung (*cabin crew*) im DOC-Modell keine Berücksichtigung finden. Das bedeutet, dass sie zu den indirekten Betriebskosten gerechnet werden. Da kein Einflussparameter für das Alter des Flugzeugs berücksichtigt wird, beziehen sich die Kosten auf ein sog. durchschnittli-

ches Flugzeugleben¹⁰. So werden durch diese Methode gemittelte Kosten berechnet, die einen höheren ISH-Aufwand bei älteren Flugzeugen nicht berücksichtigen. Weiterhin finden Gebühren keinerlei Berücksichtigung. Da gerade die maximale Abflugmasse (*MTOW*)¹¹ einen sehr starken Einfluss auf die Landgebühren hat, ist dies ein Schwachpunkt der Methode.

Der Fixkostenanteil der ISH-Kosten (*maintenance burden*) ist in den direkten Kosten enthalten, obwohl diese Kostenart nicht den Einzelkosten zuzuordnen ist.

Es ist vorgesehen, mit dieser DOC-Methode auch die Betriebskosten für Überschallflugzeuge abzuschätzen. Über die Aussagekraft der Methode für den Überschallbetrieb kann hier allerdings nichts gesagt werden, weil die Methode vor der Markteinführung des einzigen zivilen Überschallflugzeugs (*Concorde*, Erstflug 1969) veröffentlicht wurde und somit nur auf Hochrechnungen beruht. Weiterhin haben sich die Kostenverhältnisse untereinander durch die wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen verändert. So waren 1975 - sieben Jahre nach Erscheinen der Methode - die Unterschiede nach *Torenbeek*¹² schon erheblich:

- Besatzungskosten 40% zu niedrig,
- Treibstoffkosten 100% zu niedrig,
- ISH-Kosten 30 % zu hoch,
- Versicherungskosten 100% zu hoch.

Aus methodischen Gründen ist das ATA 1967 DOC-Verfahren Grundlage vieler DOC-Methoden geworden. In diesem Zusammenhang ist mit der AEA 1989 DOC-Methode ein weiteres von Luftverkehrsverbänden entwickeltes Verfahren zu nennen. Die beiden Methoden sind gerade in der Modellierung der ISH-Kosten sehr ähnlich.

Im Gegensatz dazu existieren DOC-Methoden von Flugzeugherstellern und -entwicklern wie Boeing und Airbus. Eine weitere japanische Herstellermethode wird folgend behandelt.

⁹ *statue mile* (= engl. für Landmeile) = 1,609 km

¹⁰ ATA 1967 S.1: "...a more or less airplane life time average..."

¹¹ *MTOW* für *maximum take off weight*

¹² Torenbeek, E., (1975), S. 378

2.3.2.3 Japanese Aircraft Development Corporation 1998
(JADC 1998 DOC-Methode)

Hintergrund

Die JADC 1998 DOC-Methode entstand aus der Auswertung und Analyse der DOT¹³ form 41 data¹⁴ aus dem Jahr 1990. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Berechnungen nur für „kleine“ Flugzeuge gelten, ansonsten wird auf die Boeing DOC-Methode verwiesen¹⁵. Die JADC 1998 DOC-Methode dient primär zur Abschätzung in der Entwicklung befindlicher Flugzeugprojekte.

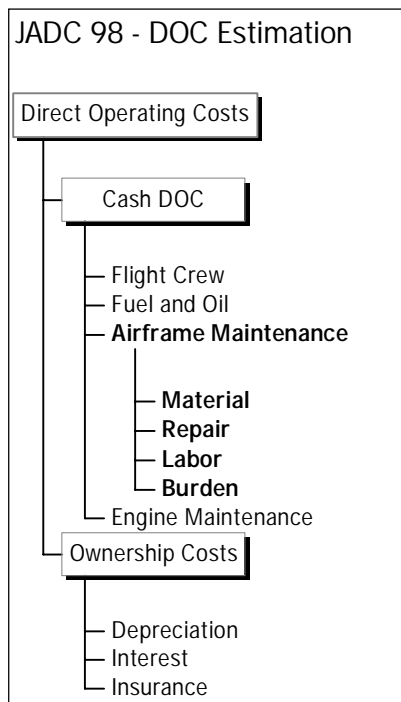


Abb. 2.6: JADC 1998 DOC-Methode

Inhalt

Das Verfahren unterteilt in Kosten für:

- variable DOC (cash direct operating costs) und
- Eigentumskosten (ownership costs).

Unter dem Begriff cash DOC sind hier die variablen Betriebskosten zu verstehen. Die Kosten werden pro Flug (zyklusbezogen) angegeben.

Besonderheiten

Die Kosten für Personal betreffen nur die fliegenden Cockpitbesetzungen. Das für eine Besatzungsumlaufplanung notwendige Zusatzpersonal wird nicht berücksichtigt. Auf die Kabinenbesatzungskosten wird gänzlich verzichtet.

2.3.2.4 Lufthansa 1994 (Lufthansa 1994 DOC-Methode)

Hintergrund

Diese DOC-Methode wurde in den sechziger Jahren zur Abschätzung der Betriebskosten und zur Flugzeugbewertung entwickelt. Sie ist bis zum heutigen Datum mehrmals revidiert worden, um sie an neue Gegebenheiten und Kostenstrukturen anzupassen.

Da es sich hierbei um eine sehr komplexe Methode handelt, die auf Basis der unternehmensspezifischen Strukturen relativ genaue Vorhersagen über die Betriebskosten eines Verkehrsflugzeugs macht, eignet sie sich sehr gut zur finanziellen Bewertung von konkurrierenden Flugzeugtypen.

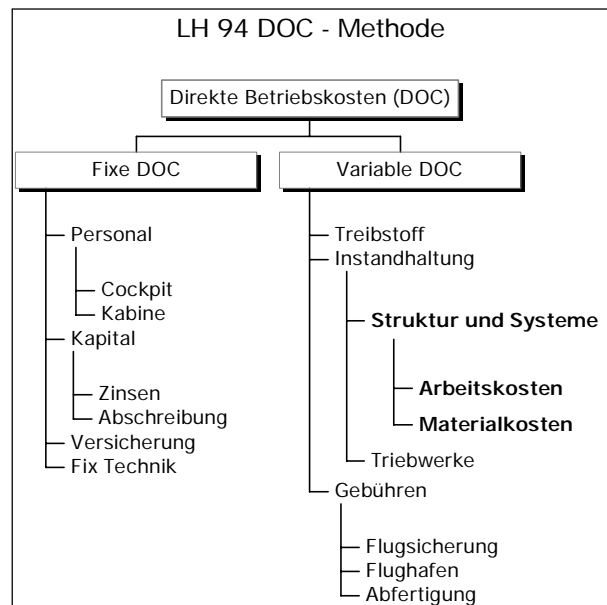


Abb. 2.7: Lufthansa 1994 DOC-Methode

Inhalt

Die berücksichtigten Kosten entsprechen außer denen von Miete und Charter denen der in Kap. 2.2 Betriebskosten einer Fluggesellschaft aufgelisteten Kosten. Das bestätigt die Ausführlichkeit der Methode. Die Ergebnisse dieser DOC-Methode sind die in Abb. 2.4: Wirtschaftlichkeitsparameter der DOC-Methoden aufgetragenen Wirtschaftlichkeitsparameter.

¹³ DOT, Department of Transportation, amerikanisches Verkehrsministerium

¹⁴ form 41 data, Formblatt mit Betriebskostendaten, zu deren Veröffentlichung amerikanische Fluggesellschaften verpflichtet sind.

¹⁵“These formulas are applied for small airplane study. For large airplanes, use Boeing methodology.”

Besonderheiten

Durch die Aufteilung in fixe und variable Kosten können Kosten für verschieden Beschäftigungsszenarien (*utilisation*) bestimmt werden. Die Annahmen für standardisierte Rechnungen bei der Lufthansa sind folgende:

- die Teilflottengröße beträgt 20 Flugzeuge,
- das durchschnittliche Dienstalter beträgt 7 Jahre,
- Unterscheidung zwischen in Dienst oder in Entwicklung stehendem Flugzeug.

Speziell die für die ISH standardisierten Daten wie Flottengröße und Dienstalter sollen in dieser Studienarbeit variabel gehalten werden. Da das ISH-Kostenmodell der Lufthansa 1994 *DOC*-Methode von allen die ausführlichsten Einflusstrends in die *DOC* und ISH-Kosten beschreibt, dient es hier als Vergleichsgrundlage.

3 Instandhaltungskosten

3.1 Entstehung der Instandhaltungskosten

Die ISH-Kosten von Flugzeugen entstehen bei der Durchführung von ISH-Maßnahmen und den dazugehörigen Materialaufwendungen. Die Zielsetzung¹⁶ und Notwendigkeit für diese Aufwendungen kann allgemein begründet werden durch die:

- Gewährleistung maximal möglicher betrieblicher Sicherheit,
- Erlangung und Beibehaltung einer hohen Einsatzzuverlässigkeit,
- Optimierung der Wirtschaftlichkeit im Betriebsablauf,
- Gewährleistung eines hohen Passagierkomforts und eines ordentlichen Erscheinungsbildes.

3.2 Definition der Instandhaltungsmaßnahmen

3.2.1 Allgemeines

Die ISH-Maßnahmen lassen sich unterteilen in

- **Wartung:** Sie ist im weiteren Sinne die Erhaltung der Betriebsfähigkeit des Fluggeräts bis zur nächsten Überholung. Dazu gehören **Prüfungen** (Durchführung von Sicht-¹⁷, Zustands-¹⁸ und Detailkontrollen¹⁹), **Wechsel** und **Reparatur** von Umlaufteilen (Anzeigergeräte, Computer, Aggregate bis hin zum Triebwerkskomplex), die kurzfristig ausgetauscht und im ausgebauten Zustand repariert werden können. Zur Wartung gehören auch vor- und nachbereitende Arbeiten wie Schleppen, Rangieren, Enteisen und Reinigen.
- **Überholung:** Umfassende Kombination aller oben genannten Maßnahmen bei weitgehender Zerlegung des Luftfahrzeugs. Sie spielt eine herausragende Rolle bei der ISH, da sie nach längerer Zeit das Luftfahrzeug wieder in annähernd neuen technischen Zustand bringt.
- **Technische Neuerungen:** Außerordentlich durchzuführende Arbeiten, die zur Erhaltung bzw. Erhöhung der Verkehrssicherheit dienen. Diese Arbeiten werden entweder durch Lufttüchtigkeitsanweisungen

¹⁶Prof. G. Hüttig, Begleitendes Material zur Vorlesung Luftverkehrsbetrieb, S. 6-1

¹⁷Sichtkontrolle: Überprüfung ohne Gebrauch von Hilfsmitteln und Ausbuarbeiten

¹⁸Zustandskontrolle: Überprüfung der Komponenten und Struktur mit technischen Hilfsmitteln

¹⁹Detailkontrolle: Zustandskontrolle nach Freilegen, Ausbau und Zerlegung eines Teils oder Systems

der Luftfahrtbehörden oder durch sog. *service bulletins* der Flugzeughersteller nötig.

Von der sicherheits- und einsatzzuverlässigkeitsrelevanten ISH abzugrenzen sind sogenannte Änderungen (Umbauarbeiten). Sie dienen zur

- **Verbesserung der Wirtschaftlichkeit:** z.B. Einbau oder Austausch von Systemen, die zur Unterstützung und Optimierung des ISH-Ablaufs dienlich sind;
- **Förderung des Wiederverkaufs:** Umbau eines Passagierflugzeugs in eine Kombi- oder Frachtversion sowie Lackierungen.

Die genaue Definition der ISH-Maßnahmen ist in dieser Studienarbeit sehr wichtig, da bei dem in *Kap. 3.4 Vergleich der Instandhaltungskostenmodelle* durchgeführten Vergleich mehrerer ISH-Kostenmodelle der Umfang dieser genau abgesteckt sein muss, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

3.2.2 Planbare und nicht planbare Instandhaltung (*routine/non routine maintenance*)

3.2.2.1 Allgemeines

Ein Flugzeug besteht aus einer Vielzahl von Einzelsystemen. Diese werden im normalen Flugbetrieb verschieden stark belastet und abgenutzt. Dadurch sind auch die Wartungsintervalle der einzelnen Systeme verschieden voneinander. Vorgeschriebene Überprüfungsintervalle enthält das *maintenance planing document (MPD)*, welches dem Betreiber genau angibt, wie der Wartungsablauf zeitlich zu gestalten ist.

Dieses macht den planbaren Anteil des ISH-Aufwands aus. Nicht planbar hingegen sind ISH-Maßnahmen, die aufgrund von Unregelmäßigkeiten wie frühzeitiges Versagen oder Unfälle auftreten. Da auch diese Aufwendungen in die ISH-Kosten eingehen, müssen sie berücksichtigt werden. Zunächst wird auf die planbaren ISH-Maßnahmen eingegangen. Diese können entweder in **präventive oder korrektive** ISH eingeteilt werden.

3.2.2.2 Präventive Instandhaltung

Präventive ISH (*hard time maintenance*) ist der fest geplante Ablauf des ISH-Programms, bestehend aus Wechsel, Ausbau, Wartung und Überholung einzelner Komponenten, Systeme oder der Flugzeugstruktur. Die zeitliche Planung erfolgt entweder über Kalenderzeitintervalle, kumulierte Flugstunden oder über die Anzahl von Starts und Landungen (*cycles*).

Flugstundenbezogene Ereignisse findet man bei Komponenten, die aufgrund einer gewissen Betriebszeit (z.B. Elektrik- oder Treibstoffsysteme) beansprucht werden. Zyklusrelevante Ereignisse findet man bei Komponenten, die nicht flugstundenabhängig belastet werden, sondern nur einmal pro Flug (z.B.: Fahrwerk, Landeklappenmechanik und Struktur). Eine auf Kalenderzeit bezogene Planung

tur). Eine auf Kalenderzeit bezogene Planung empfiehlt sich bei homogener Beschäftigung mit gleichen Flugzeiten und Zyklen in einer gewissen Periode. Zusätzlich ist sie gut zur langfristigen Durchlaufplanung (*scheduling*) von Flugzeugen im Flottenverband geeignet.

Präventivmaßnahmen werden immer dort eingesetzt, wo dem Auftreten einer Fehlfunktion, die die Flugsicherheit beeinträchtigt, vorgebeugt werden soll. Das Zusammenfassen mehrerer ISH-Arbeiten zu großen Blöcken, die einen ähnlichen zeitlichen Rhythmus haben, dienen den Luftfahrtgesellschaften zur Optimierung der Bodenstandzeiten der Luftfahrzeuge. In diesen Blöcken (sog. *letter checks*) werden auch kleinere angesammelte Defekte oder Beanstandungen durchgeführt (*non routine maintenance*), die im Flugbetrieb nicht sofort behoben werden müssen. Folgende Unterteilung der oben genannten Blöcke wird angewendet:

Ereignis	durchgeführte Arbeiten
<i>trip check</i>	Durchführung des <i>walkarounds</i> , <i>cockpit checks</i> , Sichtkontrollen, kleine schnelle Wartungsarbeiten durch Cockpit- und/oder Wartungspersonal
<i>ramp check</i>	<i>walkaround</i> , Funktionsüberprüfungen durch Wartungspersonal
<i>service check</i>	beinhaltet den <i>ramp check</i> , Sicht-, Zustandskontrollen und Reinigungsarbeiten
<i>A-check</i>	beinhaltet <i>service check</i> , Kabineninspektion, Systemüberprüfungen an den jeweiligen Stationen
<i>B-check</i>	beinhaltet <i>A-check</i> und zusätzliche Überprüfungen der Struktur und Systeme
<i>C-check</i>	beinhaltet <i>B-check</i> sowie Zerlegung einzelner Komponenten zur gründlichen Überprüfung von Struktur und Systemen
<i>IL²⁰</i>	spezielle Untersuchungen des Rumpfes und Struktur, eventuell Lackieren und Polieren
<i>D-check</i>	Struktur- und Systemüberholung, beinhaltet alle oben genannten Überprüfungen, Lackieren und Polieren

Tab. 3.1: ISH-Ereignisse und deren Umfang

²⁰ *intermediate layover*, (= engl. für Zwischenliegezeit)

Die einzelnen ISH-Ereignisse eines „durchschnittlichen Kurzstreckenflugzeugs“²¹ sind mit den verbundenen Intervall-, Bodenzeiten und den Mannstundenaufwendungen (MH) in Tab. 3.2: *Intervalle und Umfang der ISH-Ereignisse* aufgelistet:

Ereignis	Typisches Intervall	Dauer	Aufwendungen
trip check	1 Flug	0,5 h	0,5 MH
ramp check	1 Tag	1 h	2 MH
service check	9 Tage	4 h	20 MH
A-check	350 Flugstunden (ca. 4 Wochen)	6 h	40 MH
B-check	5 Monate	12 h	150 MH
C-check	15 Monate	30 h	700 MH
IL	66 Monate	2 Wochen	12.000 MH
D-check	130 Monate	4 Wochen	30.000 MH

Tab. 3.2: Intervalle und Umfang der ISH-Ereignisse

Trip, ramp, und service check werden auch als **line maintenance**, A-, B-, C-check als **light maintenance** und *IL* und *D-check* als **heavy maintenance** bezeichnet.

Vor der Einführung eines neuen Flugzeugmusters wird von einem Arbeitsteam, das aus Vertretern der Luftverkehrsgesellschaften (*launching customer*)²², dem Hersteller des Flugzeugs und seiner Triebwerke und der zulassenden Behörden bzw. äquivalenten Arbeitsgruppen (*FAA*²³, *LBA*²⁴, *JAA*²⁵) besteht, in sehr ausführlichen Untersuchungen die Grundlage des Anfangs-ISH-Systems erarbeitet. Dieses Arbeitsteam (*Maintenance Steering Group, MSG*) erstellt die sog. *MSG-Richtlinien*, die über die Hersteller und Luftverkehrsgesellschaften an die jeweiligen Luftfahrtbehörden gehen. Als Resultat erhalten die Luftverkehrsgesellschaften die Anfangs-ISH-Vorschriften, die im *MRB (Maintenance Review Board)*-dokument festgehalten werden. Dieses Dokument ist ständigen Änderungen unterworfen, die entweder direkt von den Luftfahrtbehörden kommen oder von den Herstellern in Form sog. *service bulletins* eingebracht werden.

Erststandhaltungssystem

Ganz zwangsläufig führt die Verpflichtung zu größtmöglicher Sicherheit und damit der Zwang zur Vermeidung aller Risiken beim Anfangs-ISH-System zu einem hohem Aufwand und damit zu hohen Kosten für die geplante ISH,

während die ungeplante ISH - gerade wegen dieser Tatsache - weniger in Erscheinung tritt. Der Einfluss auf die ISH-Kostenverteilung ist in *Abb. 3.1: Verlauf der Kosten für geplante und ungeplante ISH* dargestellt.

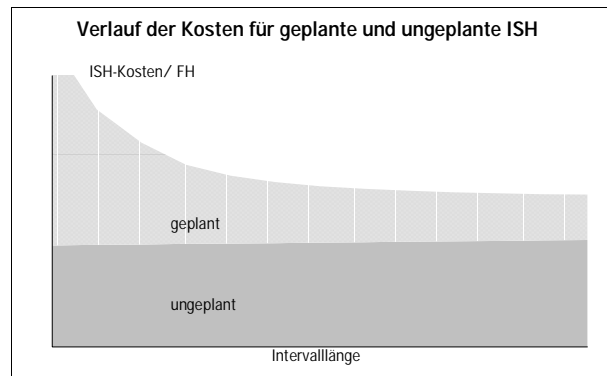


Abb. 3.1: Verlauf der Kosten für geplante und ungeplante ISH

Wenn die Mehrzahl der bei einem Muster unvermeidlichen „Kinderkrankheiten“ durch Modifikationen beseitigt ist und nachdem genügend Betriebserfahrungen vorliegen, kann damit begonnen werden, die Abstände zwischen den verschiedenen *checks* und ihrem Umfang den tatsächlichen Verhältnissen anzupassen. In einzelnen, allerdings nicht typischen Fällen kann dieses auch zu einer Verkürzung der Intervalle führen. Der Verlauf der Kurve in *Abb. 3.1: Verlauf der Kosten für geplante und ungeplante ISH* kann qualitativ auch beim Entwicklungsfaktor der Lufthansa 1994 *DMC-Methode* in *Kap. 3.3.4.4 Lufthansa 1994 DMC-Methode Erläuterung zum Entwicklungsfaktor* beobachtet werden.

Die *Abb. 3.2: Entwicklung der B727-Wartungsintervalle* zeigt schematisch die durch Erhöhung des Überholungsumfangs hervorgerufenen sehr erheblichen Wartungsintervallsteigerungen am Beispiel der B727 auf, die damit eine dramatische Senkung der ISH-Kosten - und zwar ohne Beeinträchtigung der Sicherheit - ermöglichten.

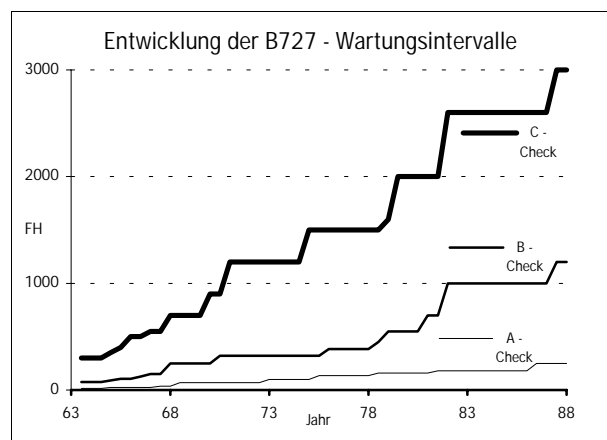


Abb. 3.2: Entwicklung der B727-Wartungsintervalle

²¹ B737-300 *check-Intervalle* aus Lufthansa *Aircraft Maintenance Systems* 1997

²² *launching customer*, (= engl. für Erstkunde, Erstbesteller eines Flugzeugtyps)

²³ *Federal Aviation Administration*, amerikanische Luftfahrtbehörde

²⁴ Luftfahrtbundesamt

²⁵ *Joint Aviation Authorities*, europäische Arbeitsgruppe zur Harmonisierung der Flugsicherheitsstandards; sie hat keine Hoheitsbefugnisse

Heutzutage versucht man, bei einer Vielzahl von Flugzeugmustern gänzlich auf *B-checks* zu verzichten. So werden seit einiger Zeit die *B-check*-Arbeiten auf eine neue *A-check*-Struktur aus *A₁*-, *A₃*- und *A₆*-*checks* umverteilt. Dadurch kann eine zusätzliche Bodenstandzeit eingespart werden.

3.2.2.3 *Korrektive Instandhaltung (On-Condition Maintenance)*

Im Gegensatz zur präventiven ISH mit den dazugehörigen *letter checks* versucht man durch das Prinzip der **korrektiven ISH**, vom System der festen Bodenstandzeitintervalle mehr und mehr abzukommen. So soll der Austausch eines Flugzeugbauteils nicht mehr nach festen Intervallen erfolgen, sondern erst, wenn es sein technischer Zustand erfordert. Dazu ist jedoch die ständige Erfassung und Überwachung bestimmter - den Systemzustand beschreibender - Parameter zwingend notwendig. So messen im Flugzeug automatisierte Systeme (*aircraft condition monitoring systems*) Betriebsparameter. Dazu gehören z.B. Informationen über den Zustand vom

- Hydrauliksystem: Druck, Reservoirstand,
- Triebwerkssystem: Verdichterdruckverhältnis, Turbinenaustrittstemperatur,
- Fahrwerk: Reifendruck, Bremssystem.

Sie generieren Warnungen, wenn Abweichungen vom Sollzustand auftreten. Mit Hilfe der Datenfernübertragung werden die Informationen an den Stationen gesammelt, ausgewertet und ggf. Wartungsmaßnahmen generiert.

Hier wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die korrektive ISH zu den Routineaufwendungen gehört, diese aber nur aus dem festen Zeitplan herausgenommen werden. Bei der Planung und Lagerhaltung der korrektiven ISH arbeitet man zur Ermittlung von ISH-Aufwendungen mit Ausfallwahrscheinlichkeiten, um einen reibungslosen Betrieb der Flugzeuge gewährleisten zu können. Diese Ausfallwahrscheinlichkeiten werden durch Datenerhebungen über längere Zeit ermittelt.

Durch die korrektive ISH konnten im Bereich der *light maintenance* Kosten eingespart und die Bodenstandzeiten verringert werden. Man muss allerdings berücksichtigen, dass zur Verarbeitung und Auswertung der *on condition* Daten ein erhöhter infrastruktureller und logistischer Aufwand betrieben werden muss.

3.3 Instandhaltungskostenmodelle

3.3.1 Allgemeines

Die ISH-Kostenmodelle sind hauptsächliches Untersuchungsobjekt dieser Studienarbeit. Sie sind Bestandteil der zuvor diskutierten *DOC*-Modelle. So sind auch sie von Aufbau und Aussage sehr verschiedenartig, und man muss zwischen allgemein gehaltenen ISH-Kostenmodellen der Hersteller- oder Luftverkehrsorganisationen und den spezielleren der Betreiber unterscheiden. Die ausgewählten ISH-Kostenmodelle beinhalten alle einen variablen Anteil und einen Fixanteil (*burden*), der auf unterschiedliche Weise modelliert wird.

Fixe und variable ISH-Kostenanteile

In *Kap. 2.3.2 Übersicht DOC-Methoden* wurden verschiedene *DOC*-Methoden mit ihren dazugehörigen ISH-Kostenmodellen vorgestellt. Grundsätzlich gehören zu den ISH-Kosten ein

- **Fixkostenanteil**, der die Kosten für die Bereitstellung von ISH-Leistungen beinhaltet. Dazu gehören alle Kosten, die nicht direkt mit einem bestimmten ISH-Ereignis in Verbindung stehen. So sind das beispielsweise Kosten für die Koordination der ISH-Arbeiten, des Verwaltungspersonals, der Anschaffung eines Schraubenschlüssels oder des Betriebs eines Hangars sowie dem
- **variablen Kostenanteil**, der nur durch die eigentlichen ISH-Ereignisse am Flugzeug oder an ausgebauten Systemen in der Werkstatt (*shop*) entsteht. Es sind die Arbeitskosten des ISH-Personals sowie die anfallenden Kosten für Ersatzmaterial.

3.3.2 Modelle der fixen Instandhaltungskosten

Der **Fixkostenanteil** wird von den oben behandelten *DOC*-Methoden verschiedenartig berücksichtigt. Zur besseren Übersicht sind diese in *Tab. 3.3: Fixkostenabdeckung der DOC-Modelle* dargestellt.

DOC-Methode	Fixe Kosten
ATA 1967	sog. <i>maintenance burden</i> : 180% Aufschlag auf die variablen Kosten
JADC 1998	sog. <i>burden</i> : 200% Aufschlag auf die variablen Kosten
Lufthansa 1994	sog. <i>Fixe Technik</i> Aufteilung der im Betrieb ermittelten Gemeinkosten gewichtet nach mittlerer <ul style="list-style-type: none"> • Größe der Gesamt- und Teilflotte, • Anzahl der Triebwerke pro Flugzeug, • Flugzeugfläche (Produkt aus Spannweite und Länge), • Flugzeugfläche der Gesamtflotte.

Tab. 3.3: Fixkostenabdeckung der *DOC*-Modelle

Die eindeutige Definition der ISH-Fixkosten als konstant bleibende Kosten kann nur bedingt gegeben werden. So werden Fixkosten zu variablen Kosten, wenn im ISH-Betrieb ein neues Flugzeugmuster eingeführt wird. Dann muss durch Erweiterung der instandzuhaltenden Flotte auch die Logistik und der ISH-Betrieb wachsen. Fixkosten sind also nur kurzfristig (saisonal) als konstant anzusehen.

3.3.3 Modelle der variablen Instandhaltungskosten (DMC-Modelle)

Die veränderlichen Kosten bestehen bei der Flugzeug-ISH aus den Anteilen Arbeitskosten ($Kost_{ARBEIT}$) und Materialkosten ($Kost_{MAT}$). Beide Größen sind abhängig von einer Reihe von Parametern, die man qualitativ beschreiben kann, wie

- Größe des Flugzeugs (Abmessungen, Gewicht),
- Auslastung (*utilisation*, Flugzeit, Flüge pro Tag),
- durchschnittliches Dienstalder des Flugzeugs in dieser Flotte,
- Entwicklungsstand der Flugzeugsysteme (Jahre seit Erstflug)

und nur qualitativ beschreibbare Effekte wie

- ISH-Philosophie des Wartungsbetriebs,
- Kostenstruktur,
- technische Erfahrung des Personals.

Der Begriff **variabel** bezieht sich auf die unterschiedlichen Kosten bei verschiedener Beschäftigung (*utilisation*) der Flugzeuge. Da diese variablen Kosten fast immer direkt mit dem Betrieb eines Flugzeugs zusammenfallen, unterscheiden viele Modelle nicht zwischen direkt und variabel. Somit werden im Englischen die variablen ISH-Kosten vielfach auch als *direct maintenance costs (DMC)* bezeichnet, deren Modellierung nun folgend vorgestellt wird.

Die variablen ISH-Kosten werden in den *DMC*-Methoden getrennt nach Zelle (*airframe*), Systemen (*systems*) und Triebwerken (*engines*) modelliert. Die Triebwerks-ISH muss deshalb getrennt betrachtet werden, da sie bei gleichen ISH-Kosten für Zellen (z.B. bei gleichem Flugzeugmuster mit gleicher Beschäftigung) verschieden sein kann. So hat nämlich das sogenannte *flat-rating* von Triebwerken auf den Wartungs- und Überholungsaufwand einen großen Einfluss. *Flat-rating* ist das Betreiben eines Triebwerks unterhalb seiner maximalen Schubleistung beim Start. Der in einem *flat-rate* Triebwerk installierte Schub ist viel größer als der für dieses Flugzeugmuster benötigte; somit ist auch das Gewicht des Triebwerks zu groß. Dieser Nachteil wird in Kauf genommen, weil die ISH-Kosten für Triebwerke eine sehr hohe Korrelation mit den Turbineneintrittstemperaturen aufweisen. Beim *flat-rating* wird diese Temperatur gesenkt. Damit ist

der ISH-Aufwand für Triebwerke verringert. Weiterhin unterscheidet sich die Höhe der Kosten auch je nach Bauart des Triebwerks. Da sehr viele Flugzeugmuster mit unterschiedlichen Triebwerkstypen ausgestattet sind, die je nach Einsatzkriterium unterschiedliche Startschübe aufweisen, muss die Triebwerksüberholung durch ein getrenntes Modell berücksichtigt werden.

3.3.4 Modelle der variablen Instandhaltungskosten der Zelle und Struktur

3.3.4.1 Allgemeines

Es werden vier *DMC*-Modelle vorgestellt. Aufgrund der Unterschiedlichkeit in Umfang, Abdeckung (*siehe Kapitel 3.1 Entstehung der Instandhaltungskosten*) und Detaillierung der Kosten werden zu jeder *DMC*-Methode die folgenden Punkte angegeben:

- Umfang der modellierten Kosten,
- Struktur der Kostenzuweisung,
- Einflussparameter,
- Aussagekraft des Ergebnisses.

Die Struktur der Kostenzuweisung ist für die ersten drei behandelten Modelle identisch.

Die Gesamt-ISH-Kosten ($Kost_{GES}$) setzen sich aus $Kost_{ARBEIT}$ und $Kost_{MAT}$ zusammensetzen. Die jeweiligen Arbeits- und Materialkosten setzen sich aus einem flugstunden- ($Kost_{ARBEIT, FH}$ und $Kost_{MAT, FH}$) und einem flugzyklusbezogenen ($Kost_{ARBEIT, FC}$ und $Kost_{MAT, FC}$) Anteil zusammen. Das ist qualitativ in *Abb. 3.3: Struktur der ISH-Kostenmodelle* dargestellt.

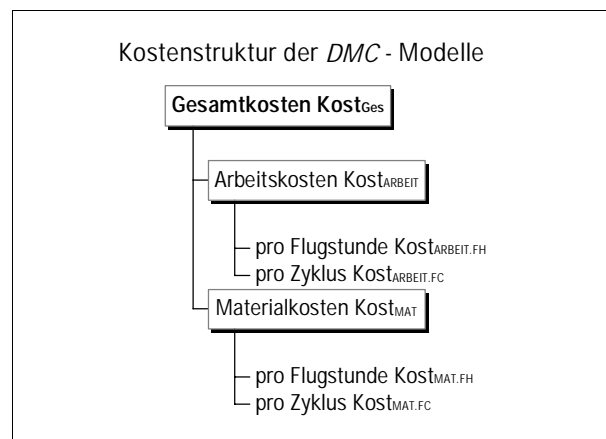


Abb. 3.3: Struktur der ISH-Kostenmodelle

3.3.4.2 American Transport Association 1967 DMC-Methode

Umfang des Modells

Nach Angaben der *Air Transport Association of America* deckt diese Methode $Kost_{ARBEIT}$ und $Kost_{MAT}$ für Inspektion, Wartung und Überholung der Flugzeugzelle sowie deren Systeme, Instrumente und Funkanlagen, etc²⁶ ab. Nach den obigen Definitionen zählt die Inspektion zur Wartung. Weiterhin wird ein zweiprozentiger Aufschlag für *non revenue flying*²⁷ berücksichtigt.

Einflussparameter

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugstunde lautet:

$$Kost_{ARBEIT.FH} = \left(6 - \frac{630}{120 + \frac{W_{AF}}{1000}} + 0,05 \cdot \frac{W_{AF}}{1000} \right) \cdot Lohn_{ARBEIT}$$

Gleichung 3.1

Dabei stellt der Ausdruck in Klammern den Mannstundenaufwand dar. Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugzyklus lautet:

$$Kost_{ARBEIT.FC} = 0,59 \cdot \left(6 - \frac{630}{120 + \frac{W_{AF}}{1000}} + 0,05 \cdot \frac{W_{AF}}{1000} \right) \cdot Lohn_{ARBEIT}$$

Gleichung 3.2

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugstunde lautet:

$$Kost_{MAT.FH} = 3,08 \cdot \frac{Preis_{AF}}{1.000.000}$$

Gleichung 3.3

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugzyklus lautet:

$$Kost_{MAT.FC} = 6,24 \cdot \frac{Preis_{AF}}{1.000.000}$$

Gleichung 3.4

Die Eingangsparameter sind in *Tab. 3.4: Einflussparameter der ATA 1967 DMC-Methode* erläutert:

Parameter	Beschreibung
W_{AF} ²⁸	Gewicht der Flugzeugstruktur und der technischen Systeme ohne Kabinenausrüstung in lbs ²⁹
$Preis_{AF}$	Preis des Flugzeugs ohne Triebwerke in Mio. US\$
$Lohn_{ARBEIT}$	Mannstundensatz in US\$/MH ³⁰

Tab. 3.4: Einflussparameter der ATA 1967 DMC-Methode

Aussagekraft der Methode

Die Kostengleichungen setzen sich aus zwei Faktoren zusammen, die zur besseren Übersichtlichkeit in *Tab. 3.5: Einflussfaktoren der ATA 1967 DMC-Methode* dargestellt werden.

Faktor	flugstundenbezogen	flugzyklusbezogen
Größen-Faktor	$\left[6 - \frac{630}{120 + \frac{W_{AF}}{1000}} + 0,05 \cdot \frac{W_{AF}}{1000} \right]$	$0,59 \left[6 - \frac{630}{120 + \frac{W_{AF}}{1000}} + 0,05 \cdot \frac{W_{AF}}{1000} \right]$
Preis-Faktor	$3,08 \cdot \frac{Preis_{AF}}{1.000.000}$	$6,24 \cdot \frac{Preis_{AF}}{1.000.000}$

Tab. 3.5: Einflussfaktoren der ATA 1967 DMC-Methode

Die ISH-Kosten werden nur durch das Strukturleergewicht W_{AF} und den Anschaffungspreis des Flugzeugs ohne Triebwerke $Preis_{AF}$ bestimmt. Der Einfluss des Preis-Faktors ist linear. Der Einfluss des Größenfaktors ist von der mathematischen Formulierung komplexer und wird deshalb zum besseren Verständnis grafisch über dem Strukturleergewicht (W_{AF}) in *Abb. 3.4: Größenfaktor der ATA 1967 DMC-Methode* dargestellt.

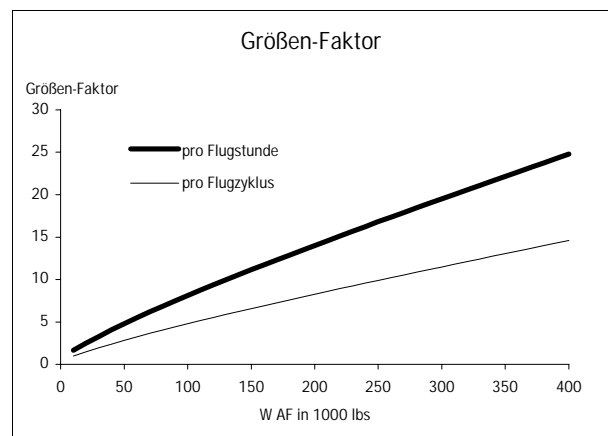


Abb. 3.4: Größenfaktor der ATA 1967 DMC-Methode

Erläuterung zum Größenfaktor

Die Größenfaktorfunktion berücksichtigt den wachsenden ISH-Aufwand für größere Flugzeuge, der sich z.B. in stärkeren Hydrauliksystemen, Fahrwerksstrukturen, längeren und breiteren Rümpfen zeigt. Die Größe des Flugzeugs wird durch das Strukturleergewicht beschrieben.

²⁶ "...includes labor and material costs for inspection, servicing and overhaul of the airframe and its accessories, ..., instruments, radios, etc"

²⁷ *non revenue flying* (= engl. für nicht vergütete Flüge, z.B. Überführungsflüge)

²⁸ W_{AF} : W für *weight* (= engl. für Gewicht), AF für *airframe* (= engl. für Flugzeugstruktur)

²⁹ *lbs* (englisches Pfund) = 0,4536 kg

³⁰ *MH* für *manhour* (= engl. für Mannstunde)

Der Preis-Faktor

Die Preisfaktorfunktion beschreibt den Einfluss des Anschaffungspreises des Flugzeugs auf die Materialkosten. Dieses Verhalten ist ähnlich dem der Größenfaktorfunktion, wenn man unterstellt, dass größere Flugzeuge (d.h. größere Strukturleergewichte) auch einen größeren Anschaffungspreis aufweisen. Weiter beschreibt dieses Modell, dass komplexere Luftfahrzeuge mit zusätzlichen technischen Systemen (größerer Anschaffungspreis aufgrund der Komplexität) auch höhere Materialkosten aufweisen. In der Realität hat der Anschaffungspreis jedoch keine klare Aussagekraft, da Flugzeugpreise aufgrund der angespannten und stark konkurrierenden Marktsituation nicht ausschließlich mit den eigentlichen Produktions- und Entwicklungskosten verbunden sind. Man kann sich jedoch an Listenpreise halten, die regelmäßig von Luftfahrzeugherstellern veröffentlicht werden.

Aussagekraft des Modells

Die flugstunden- und flugzyklusbezogenen Arbeitskosten sind nur abhängig vom Strukturleergewicht, also von der Flugzeuggröße; die flugstunden- und flugzyklusbezogenen Materialkosten sind abhängig vom Anschaffungspreis. Auffällig ist, dass der zyklische Anteil unabhängig von der Flugstundenzahl ist. So berücksichtigt das Modell die steigenden zyklischen Kosten bei geringerer durchschnittlicher Flugzeit und gleichbleibender jährlicher Beschäftigung (*utilisation*) nicht. Weiterhin bleibt das Alter des Luftfahrzeugs unberücksichtigt. Alte Flugzeuge würden nach dieser Modellannahme demnach genauso hohe Kosten aufweisen wie ganz neue Flugzeuge. Diese scheinbare Fehlmodellierung wurde in *Kap. 2.3.2.2 Air Transport Association of America 1967 (ATA 1967 DOC-Methode)* eingehend behandelt.

3.3.4.3 Japanese Aircraft Development Corporation 1998 DMC-Methode

Umfang des Modells

Diese Methode deckt den Umfang der *DOT form 41* Daten ab, da sie Grundlage des Modells sind. Dieser Umfang war allerdings nicht eindeutig recherchierbar.

Einflussparameter

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugstunde lautet:

$$\text{Kost}_{\text{ARBEIT.FH}} = (0,02172 \cdot W_{\text{AF}} + 0,655) \cdot \text{Lohn}_{\text{ARBEIT}}$$

Gleichung 3.5

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugzyklus lautet:

$$\text{Kost}_{\text{ARBEIT.FH}} = (0,02172 \cdot W_{\text{AF}} + 0,655) \cdot \text{Lohn}_{\text{ARBEIT}}$$

Gleichung 3.6

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugstunde lautet:

$$\text{Kost}_{\text{MAT.FC}} = 0,5730 \cdot W_{\text{AF}}$$

Gleichung 3.7

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugzyklus lautet:

$$\text{Kost}_{\text{MAT.FH}} = 0,4598 \cdot W_{\text{AF}}$$

Gleichung 3.8

Aussagekraft des Modells

Wie man ersieht, werden die Kostenterme nur durch das Strukturleergewicht beschrieben; es existiert also in dieser Methode nur der Größenfaktor. Anders als bei der *ATA 1967 DMC-Methode* beschreibt der Größenfaktor auch den Einfluss auf die Materialkosten. Sonstige operationelle Gesichtspunkte werden vernachlässigt. Der Inflationsverlauf der Kosten wird durch Angleichung der Stundensätze und durch Einführung eines Eskalationsfaktors für die Materialkosten berücksichtigt.

3.3.4.4 Lufthansa 1994 DMC-Methode

Umfang des Modells

Nach der Definition in *Kap 3.2 Definition der Instandhaltungsmaßnahmen* beinhaltet das Modell alle oben angegebenen Kategorien: Wartung, Überholung, Technische Neuerungen und Umlaufteil-ISH.

Einflussparameter

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugstunde lautet:

$$\begin{aligned} \text{Kost}_{\text{ARBEIT.FH}} = & 0,542 \cdot \text{Age}_{\text{serv}}^{0,115} \\ & \cdot \text{MTOW}^{0,564} \\ & \cdot \left(1 + \frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}\right) \cdot (1 - 0,05)^{(\text{Year}_{\text{serv}} - \text{Year}_{\text{base}})} \\ & \cdot \text{Lohn}_{\text{ARBEIT}} \cdot (1 + \text{Inf}_{\text{ARBEIT}})^{(\text{Year}_{\text{calc}} - \text{Year}_{\text{ref}})} \\ & \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{flight}}}\right) \end{aligned}$$

Gleichung 3.9

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro Flugzyklus lautet:

$$\begin{aligned} \text{Kost}_{\text{ARBEIT.FC}} = & 0,542 \cdot \text{Age}_{\text{serv}}^{0,115} \\ & \cdot \text{MTOW}^{0,564} \\ & \cdot \left(1 + \frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}\right) \cdot (1 - 0,05)^{(\text{Year}_{\text{serv}} - \text{Year}_{\text{base}})} \\ & \cdot \text{Lohn}_{\text{ARBEIT}} \cdot (1 + \text{Inf}_{\text{labor}})^{(\text{Year}_{\text{calc}} - \text{Year}_{\text{ref}})} \\ & \cdot 0,57 \end{aligned}$$

Gleichung 3.10

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugstunde lautet:

$$\begin{aligned}
 \text{Kost}_{\text{MAT, FH}} = & 9,386 \cdot \text{Age}_{\text{serv}}^{0,212} \\
 & \cdot \text{MTOW}^{0,643} \\
 & \cdot \left(1 + \frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}\right) \\
 & \cdot \frac{\text{Kurs}_{\text{US\$ DM}}}{1,7} \cdot (1 + \text{Inf}_{\text{MAT}})^{(\text{Year}_{\text{calc}} - \text{Year}_{\text{ref}})} \\
 & \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{flight}}}\right)
 \end{aligned}$$

Gleichung 3.11

Die Berechnungsformel für die Materialkosten pro Flugzyklus lautet:

$$\begin{aligned}
 \text{Kost}_{\text{MAT, FC}} = & 9,386 \cdot \text{Age}_{\text{serv}}^{0,212} \\
 & \cdot \text{MTOW}^{0,643} \\
 & \cdot \left(1 + \frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}\right) \\
 & \cdot \frac{\text{Kurs}_{\text{US\$ DM}}}{1,7} \cdot (1 + \text{Inf}_{\text{MAT}})^{(\text{Year}_{\text{calc}} - \text{Year}_{\text{ref}})} \\
 & \cdot 0,34
 \end{aligned}$$

Gleichung 3.12

Die Größe Age_{tech} ergibt sich wie folgt:

$$\text{Age}_{\text{tech}} = \text{Year}_{\text{serv}} - \text{Year}_{\text{average.certification}}$$

Gleichung 3.13

Die Eingangsparameter sind folgend erläutert:

Parameter	Beschreibung
MTOW	Maximale Startmasse eines Flugzeugtyps in to
Age _{tech}	Technologisches Alter eines Flugzeugtyps und dessen Komponenten in a
Age _{serv}	Dienstalter in der Lufthansaflotte in a
T _{flight}	durchschnittliche Flugzeit in h
Year _{serv}	das Jahr, für das die ISH-Kosten berechnet werden sollen
Year _{calc}	das Jahr, für das über den Inflationsausgleich die Mannstundensätze berechnet werden
Year _{base}	das Jahr, in dem die ISH-Kosten erfasst wurden und das Modell ³¹ erstellt wurde
Year _{ref}	das Jahr, in dem die Stundensätze festgelegt wurden
Year _{cert.base.aircraft}	Zulassungsjahr des ersten Flugzeuges einer Flugzeugfamilie
Year _{cert.derivative}	Zulassungsjahr der betrachteten Flugzeugversion
Year _{average.cert}	durchschnittliches Zulassungsjahr aus den beiden oberen Jahren
Inf _{ARBEIT}	Inflation der Arbeitslöhne (Lohnsteigerung) p.a.
Inf _{MAT}	Inflation der Materialpreise p.a.
Kurs _{US\$,DM}	Kursverhältnis zwischen US\$ und DM

Tab. 3.6: Einflussparameter der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Aussagekraft der Methode

Die jeweiligen Kostengleichungen setzten sich aus verschiedenen Faktoren zusammen, welche die ISH-Kosten prägen. Diese Faktoren sind zur besseren Übersicht in *Tab. 3.7: Einflussfaktoren der Lufthansa 1994 DMC-Methode* aufgelistet. Aufgrund der Formelstruktur als Ergebnis einer Regressionsanalyse können den Termen keine physikalischen oder finanziellen Einheiten zugeordnet werden; die Betrachtungen müssen einheitenlos stattfinden.

Faktor	für Arbeitskosten	für Materialkosten
Größe	MTOW ^{0,564}	MTOW ^{0,643}
Dienstalter	Age _{serv} ^{0,115}	Age _{serv} ^{0,212}
Flugzyklus	($\frac{1}{T_{\text{flight}}}$)	($\frac{1}{T_{\text{flight}}}$)
Flugstunde	0,57	0,34
Rationalisierung	(1 - 0,05) ^(Year_{serv} - Year_{base})	-
Entwicklung	(1 + $\frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}$)	(1 + $\frac{0,5}{\text{Age}_{\text{tech}}}$)
Kosten	Rate _{labor} · (1 + Inf _{labor}) ^(Year_{calc} - Year_{ref})	$\frac{\text{Kurs}_{\text{US\$ DM}}}{1,7} \cdot (1 + \text{Inf}_{\text{material}})^{(\text{Year}_{\text{calc}} - \text{Year}_{\text{ref}})}$

Tab. 3.7: Einflussfaktoren der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Bei der Berechnung für die flugstunden- und flugzyklusbezogenen Arbeitskosten ergeben die Faktoren für Dienstalter, Größe, Entwicklung, Flugstunde und Flugzyklus eine Arbeitsmannstundenzahl, die mit dem Kostenfaktor - das ist der inflationsberücksichtigte Arbeitslohn - zu einer Kostengröße multipliziert werden. Diese Kostengröße berücksichtigt den Inflationsanstieg der Mannstundensätze vom Jahr der Datenerfassung bis zum Jahr der Kalkulation. Der Einfluss der verschiedenen Parameter wird zum besseren Verständnis grafisch dargestellt.

Erläuterung zum Größen-Faktor

Die Größenfaktorfunktion der Lufthansa 1994 DMC-Methode entspricht prinzipiell der der ATA 1967 DMC-Methode, wobei bei der Lufthansa 1994 DMC-Methode der Einfluss der Größe mit Hilfe einer Potenzfunktion des MTOWs beschrieben wird. Der Faktor für Material hat einen stärkeren Einfluss als der für die Arbeitsstunden.

³¹ Im Fall der Lufthansa 1994 DMC-Methode handelt es sich um ein verbessertes Modell mit den Daten von 1989

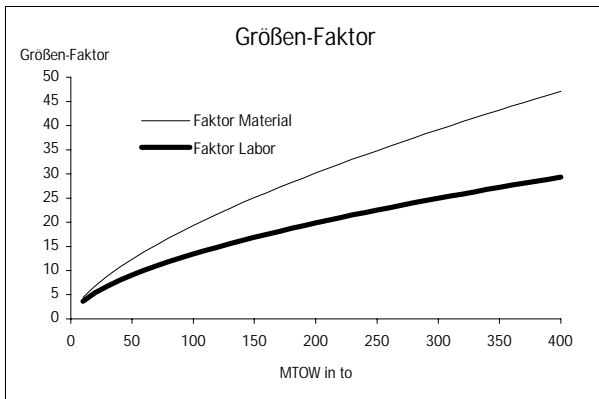


Abb. 3.5: Größenfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Erläuterung zum Dienstalter-Faktor

Der Dienstalter-Faktor berücksichtigt den erhöhten ISH-Aufwand, der sich aufgrund von Alterungs- und Verschleißeffekten ergibt. Wie beim Größenfaktor ist der Einfluss auf die Materialkosten stärker als auf die Mannstunden.

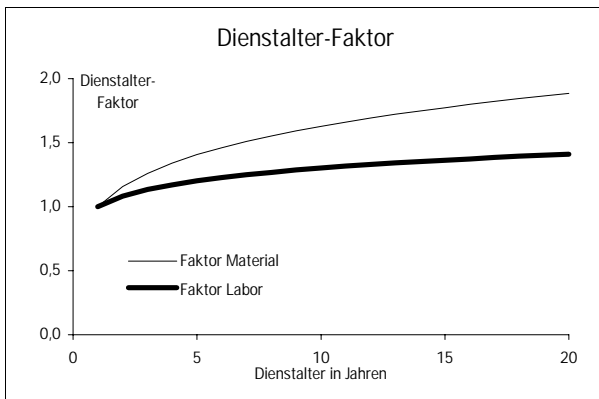


Abb. 3.6: Dienstalterfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Erläuterung zum Flugzyklus-Faktor

Da die ISH-Kosten bei der Lufthansa 1994 DMC-Methode je Flugstunde angegeben werden, muss zwischen den verschleißreichen Kurzstreckenflügen (hohe Zahl von Starts und Landungen) und den verschleißärmeren Langstreckenflügen unterschieden werden. Der höhere Verschleiß bei Kurzstreckenflugzeugen erklärt sich durch:

- starke strukturelle Belastung durch Landungen (Landestoß) und häufigere Druckwechselbeanspruchung des Rumpfes,
- Reifenverschleiß,
- Verschleiß der Hydraulikaggregate durch Fahren der Klappen und Fahrwerke,
- Verschleiß von mechanischen Bauteilen: Landeklappenschlitten und Fahrwerkskinematik.

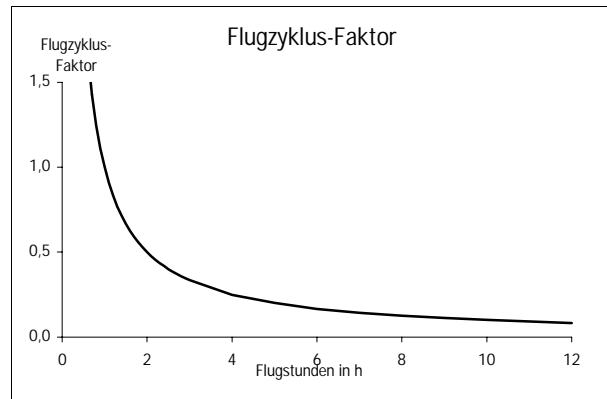


Abb. 3.7: Flugzyklusfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Erläuterung zum Entwicklungsfaktor

Das Entwicklungsalter der Technik im Flugzeug Age_{tech} beschreibt die Reife der technischen Bauteile im Flugzeug. So entstehen nach dem Modell in den ersten Jahren nach Neueinführung eines Flugzeugmusters erhöhte ISH-Kosten. Dieser Verlauf ist durch das Auftreten von „Kinderkrankheiten“, nämlich dem erhöhten Ausfall von Geräten und intensivierten Wartungsaufwendungen nach Inbetriebnahme beim Erstkunden (*launching customer*) zu erklären. Die Luftfahrzeuge sind in dieser Zeit noch nicht ausgereift. Die Hintergründe zu diesem Thema wurden bereits in Kap. 3.2.2.2 *Präventive Instandhaltung Erstinstandhaltungssystem* ausführlich behandelt.

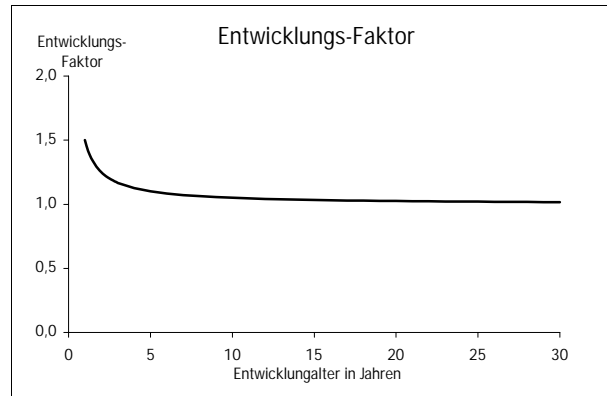


Abb. 3.8: Entwicklungsaltersfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Erläuterung zum Rationalisierungsgrad

Der mit der Differenz aus $Year_{serv}$ und $Year_{base}$ exponentiell bewertete Faktor (1-0,005) wird als Rationalisierungsgrad bezeichnet. Er beschreibt die Verbesserung der Arbeitseffizienz des ISH-Betriebs vom Jahr der Datenerhebung bis zum Berechnungsjahr. Dies ist durch den größeren Erfahrungsschatz der Mechaniker und Ingenieure über die Jahre zu erklären. Den Rationalisierungsgrad bezeichnet man auch als Lernkurve.

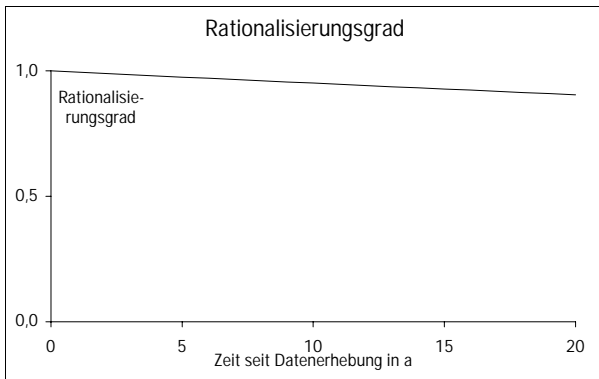


Abb. 3.9: Rationalisierungsgrad der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Der Kosten-Faktor

Arbeitskosten: Der Kosten-Faktor wandelt die durch die oben beschriebenen Faktoren erzeugten Mannstunden über einen durchschnittlichen Mannstundensatz ($Lohn_{ARBEIT}$) in Arbeitskosten um. Er berücksichtigt die Lohnsteigerung in den Jahren von der Datenerhebung $Year_{ref}$ und dem Kalkulationsjahr $Year_{calc}$ durch eine Eskalationsrate ($Inf_{labor} = 3,5\%$ p.a.).

Materialkosten: Da Materialpreise international in US\$ bezahlt werden, wird eine durchschnittliche Dollar-DM-Parität benötigt. Im Jahr der Datenerhebung entsprach der Dollarkurs 1,7 DM/US\$. Der Inflationsausgleich verhält sich ähnlich wie der oben beschriebene ($Inf_{mat} = 3,5\%$ p.a.).

Die Lufthansa 1994 DMC-Methode bildet - aufgrund ihrer Komplexität und der großen Anzahl an Einflussfaktoren - für diese Studienarbeit die beste Grundlage für spätere Modellvergleiche.

3.3.4.5 DMC-Methode nach Dechow³²

Bei dieser DMC-Methode handelt es sich um eine Diplomarbeit aus dem Jahr 1990. Sie ist kein Modell in einer DOC-Methode, sondern wurde separat entwickelt. Ziel der Arbeit war es, die Vorhersagegenauigkeit für die direkten ISH-Kosten von Zelle und Systemen zu erhöhen, sowie die Kostenstrukturen im ISH-Prozess des ISH-Betriebs der Lufthansa transparenter zu gestalten. Gleichzeitig sollte die Parameteranzahl reduziert werden.

Umfang des Modells

Die erfassten ISH-Aufwendungen entsprechen denen des Lufthansa DMC-Modells, mit dem Unterschied, dass nach Dechow alle Kosten für die einzelnen ISH-Ereignisse separat modelliert werden.

Die **ISH-Kosten** pro Flugstunde sind somit die Summe der Ereigniskosten für

- Wartung Flugzeug,
- Überholung Flugzeug,
- Umlaufteilinstandhaltung,
- Technische Neuerungen.

Die **Wartungskosten** setzen sich zusammen aus den folgenden Einzelaufwendungen für

- Arbeitskosten,
- *trip check*,
- *Z-check (ramp check)*,
- *S-check*,
- Große Wartung (A-, B-, C-checks, "light maintenance"),
- Triebwerkswechsel,
- Reinigen, Polieren, Enteisen,
- Schleppen, Rangieren (sonstige Wartungsarbeiten),
- Materialkosten.

Die **Überholungskosten** setzen sich zusammen aus den folgenden Einzelaufwendungen:

- Arbeitskosten *IL*,
- Arbeitskosten *D-check*,
- Materialkosten *IL*,
- Materialkosten *D-check*.

Die Kosten für **Umlaufteil-ISH** beinhalten die Aufwendungen für Wartung und Überholung von austauschbaren Geräten, wie Computern, Aggregaten. Die Aufwendungen für **Technische Neuerungen** entstehen durch Modifikationen und *service bulletins*. Die Kosten werden in diesem Modell flugstundenbezogen angegeben.

Modellierung der Wartungskosten Flugzeug:

$$\begin{aligned}
 \text{Kost}_{\text{Wartung}} = & (\text{Kost}_{TC} \cdot \text{Anz}_{TC} \cdot F_{\text{inf}} + \\
 & AH_{ZC} \cdot SS_{ZC} \cdot \text{Anz}_{ZC} + \\
 & AH_{SC} \cdot SS_{SC} \cdot \text{Anz}_{SC} + \\
 & AH_{GW} \cdot SS_{GW} + \\
 & AH_{TWW} \cdot SS_{TWW} \cdot \text{Anz}_{TWW} + \\
 & \text{Kost}_{RPE} \cdot F_{\text{inf}} + \\
 & \text{Kost}_{SW} \cdot F_{\text{inf}} + \\
 & \text{Kost}_{\text{MAT.W}} \cdot \\
 & F_{EW}
 \end{aligned}$$

Gleichung 3.14

³² Dechow, Martin: Diplomarbeit, Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der Instandhaltungskosten von Flugzeugzellen und Systemen, TU Braunschweig, Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung, Braunschweig 1991

Modellierung der Überholungskosten Flugzeug:

$$\text{Kost}_{\text{Überholung}} = \frac{1,2}{14} \cdot ((\text{AH}_{\text{IL1}} \cdot \text{SS}_{\text{IL1}} + \text{Kost}_{\text{MAT,IL1}}) \cdot W_{\text{IL}} + (\text{AH}_{\text{D1}} \cdot \text{SS}_{\text{D1}} + \text{Kost}_{\text{MAT,D1}}) \cdot W_{\text{D}})$$

Gleichung 3.15

Modellierung der Umlaufteil-ISH-Kosten:

$$\text{Kost}_{\text{UTEG}} = \text{Kost}_{\text{UTE}} \cdot F_{\text{EUTE}}$$

Gleichung 3.16

Die Bedeutung der Terme in den Kostenformeln ist in der nachfolgenden Tabelle erklärt:

Parameter	Erklärung	Indizes	Bedeutung
Kost	Kosten für Ereignis	D1	D1
AH	Arbeitsstunden	EUTE	Einführung Umlaufteile
SS	Stundensatz	EW	Einführung Wartung
Anz	Anzahl von Ereignissen	GW	Große Wartung (A-, B-, C-check)
F	Faktor	inf	Inflation
W	Gewichtungsfaktor	IL1	intermediate layover
		MAT.D	Material für D1
		MAT,IL1	Material für IL1
		MAT.W	Material der Wartung
		RPE	Reinigen, Polieren, Enteisen
		SC	service check
		SW	sonstige Wartungsarbeiten
		TC	trip check
		TN	Technische Neuerungen
		TWW	Triebwerkswechsel
		UTE	Umlaufteil
		ZC	Z-check

Tab. 3.8: Erläuterung zu den Termen in der Dechow-Methode

Die einzelnen Terme für AH, SS und Kost sind Regressionsformeln, die größtenteils vom *MTOW* und der *utilisation* abhängig sind. Während die Kosten für *trip check*, RPE, SW, und alle Materialkosten direkt ermittelt werden, ergeben sich die übrigen Kosten aus der Multiplikation von Arbeitsstunden (AH) und den dazugehörigen Stundensätzen (SS), die je nach ISH-Ereignis unterschiedlich sind.

Die Methode berücksichtigt die Häufigkeit der Überholungsereignisse nach dem *IL1* und *D1-check* als Funktion der *utilisation*.

- $utilisation \leq 2500$ h: „Überholungshäufigkeit gleich 1“,
- $2500 \text{ h} \leq utilisation \leq 3600$ h: 2,15-fache Gewichtung der *IL1* und *D1-checks*,
- $3600 \text{ h} \leq utilisation \leq 4300$ h: 3,415-fache Gewichtung der *IL1* und 2,15-fache Gewichtung der *D1-checks*,
- $utilisation \geq 4300$ h: 3,415-fache Gewichtung der *IL1* und *D1-checks*.

Die Nachkommastellen in den Gewichtungsfaktoren geben den gesteigerten Überholungsumfang der 2. und 3. *IL* und *D-checks* an.

Die ermittelten Kosten sind Reifewerte. Sie werden mit Faktoren (F_{EUTE} und F_{EW}) gewichtet, um die Neuinbetriebnahme bzw. den Bekanntheitsgrad der instandzuhaltenden Systeme zu berücksichtigen. Diese Faktoren sind Funktionen von sogenannten Neuheitsgraden, die von Zelle, System und Triebwerk getrennt betrachtet werden. Diese Grade geben (zwischen 0 und 1) an, wie neu ein Luftfahrzeug mit seinen Systemen und Triebwerken für den Lufthansa-ISH-Betrieb ist. Die Formeln sind dem *Anhang 1: Dechow-Methode* zu entnehmen. Die Einflussparameter der Methode sind:

Einflussparameter
<i>MTOW</i>
<i>utilisation</i>
Anzahl der Flüge pro Jahr
Alter des Luftfahrzeuges
Preis des Luftfahrzeuges
Preis des Luftfahrzeuges ohne Triebwerke
Anzahl der Triebwerke
OEW des Luftfahrzeuges
OEW des Luftfahrzeuges ohne Triebwerke
Jahr der Musterzulassung
Jahr der Indienststellung bei der Lufthansa
Neuheitsgrad Struktur, Systeme, Triebwerke

Tab. 3.9: Einflussparameter der Dechow-Methode

Aussagekraft der Methode

Die Dechow-Methode unterscheidet sich bezüglich des Umfangs nicht vom Lufthansa 1994 *DMC*-Modell. Durch die Aufteilung der Gesamtkosten auf die einzelnen Ereigniskosten eignet sich die Dechow-Methode als Anpassungsinstrument zwischen den einzelnen *DMC*-Methoden. So kann je nach Flugzeugtyp abgeschätzt werden, wie groß z.B. der Anteil der *line maintenance* an den Gesamtkosten ist. In *Abb. 3.10: Anteile der Ereigniskosten der ISH nach Dechow* soll dies verdeutlicht werden.

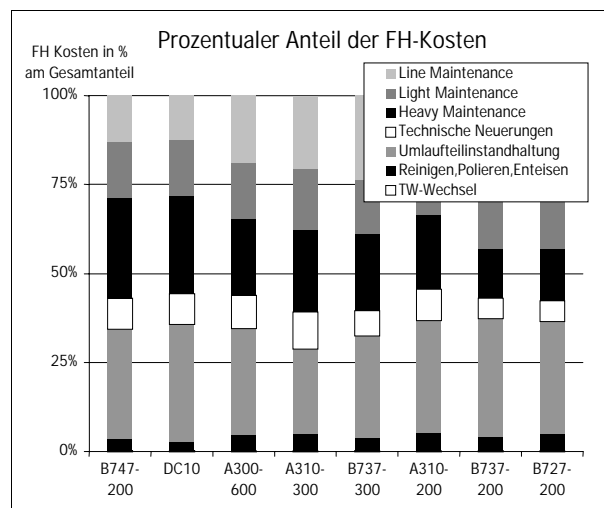


Abb. 3.10: Anteile der Ereigniskosten der ISH nach Dechow

3.4 Vergleich der Instandhaltungskostenmodelle

In diesem Kapitel werden die oben besprochenen Modelle analysiert und diskutiert. Dies geschieht anhand repräsentativer Lufthansa-Teilflotten mit ihren Betriebsparametern, die dem Instandhaltungsgeneralvertrag (IGV) aus dem Jahr 1996 entnommen sind.

FZ-Typ	B737-300	A320-200	A300-600SR ³³	A300-600LR ³⁴	B747-200	B747-400
Flugzeit in h	1,24	1,34	0,87	4,03	8,71	8,28
utilisati-on in h	2.603	2.630	2.094	3.349	6.579	5.425

Tab. 3.10: Betriebsparameter der Beispielrechnung

Die Auswahl der Luftfahrzeuge ist deshalb so getroffen worden, weil die oben besprochenen Einflussfaktoren und deren Auswirkungen dargestellt werden sollen. So gibt es einen direkten Vergleich zwischen

- **Kurz- und Langstrecke** (B737-300/B747-400/-200), sowie Alters- und Flugzykluseinfluss
- **Alt und Neu (LR)** (B747-200/B747-400),
- **Alt und Neu (SR)** (B737-300/A320-200),
- **Flugzyklus** (A300-600SR/A300-600LR).

Es werden dabei die Kostengrößen für Arbeit und Material miteinander verglichen. Für die Berechnung der einzelnen Methoden wurden folgende Einflussgrößen verwendet, deren Einheiten bereits oben angegeben wurden.

Methode	JADC 98	ATA 1967	Lufthansa 1994	Dechow
Entwurfsparameter	W_{AF}	W_{AF}	$MTOW$	$MTOW$
				OEW des Luftfahrzeugs
				OEW des Luftfahrzeugs ohne Triebwerke
				Anzahl der Triebwerke
Betriebsparameter	T_{flight}	T_{flight}	T_{flight}	utilisation
				Anzahl der Flüge pro Jahr
			$Year_{Calculation}$	
			$Year_{Certification\ Base\ Aircraft}$	
			$Year_{Certification\ Derivative}$	Jahr der Musterzulassung
			$Year_{Delivery}$	Jahr der Indienststellung bei der Lufthansa
			Age_{serv}	Alter des Luftfahrzeugs
				Preis des Luftfahrzeugs
		Preis _{AF}	Preis _{AF}	Preis des Luftfahrzeugs ohne Triebwerke
			InfARBEIT	
sonstige			InfMAT	
			Kurs _{US\$,DM}	
			Lohnkosten	Lohnkosten
				Neuheitsgrade TW, System, Struktur

Tab. 3.11: Einflussparameter der Beispielrechnung

³³ SR: für *short range* (= engl. Kurzstrecke)

³⁴ LR: für *long range* (= engl. Langstrecke)

Die Bedeutung der hier genannten Größen sind in *Kap. 3.3.4.2 bis 3.3.4.5* besprochen worden. Weiterhin kann anhand der Menge der Einflussparameter die Komplexität und damit die einhergehende Genauigkeit der einzelnen Methode erkannt werden.

Mit dieser Tabelle sind alle signifikanten Einflussgrößen der Modelle aufgelistet. Sie bildet die Grundlage für die Auswahl der Einflussgrößen für die spätere Regressionsanalyse, mit der die ISH-Kosten neu abgeschätzt werden sollen.

Die standardisierten Annahmen für den Vergleich der Arbeits- und Materialkosten

Da die in den Tabellen aufgelisteten Daten nicht für alle Flugzeuge für ein Betriebsjahr vollständig vorhanden waren, wurden folgende Annahmen getroffen:

- gleiche Lohnkosten: 53,10 DM/MH (vom Lufthansa-Modell 1994: DM 50,05 mit 3% Arbeitskosteneskalation p.a.),
- repräsentativer Dollarkurs für 1996: 1,55 DM/US\$,
- Flugzeugpreise aus Dechow 1990 mit 3,5% Materialskala-tion p.a. auf das Jahr 1996 umgerechnet,
- durchschnittliche Flugzeuggewichte aus *Airline-fleets* 1996 für die einzelnen Teilflotten,
- durchschnittliches Flugzeugalter aus *Airline-fleets* 1996 für die einzelnen Teilflotten.

Die für die Rechnung verwendeten Größen sind dem Anhang zu entnehmen. Als erstes sollen nun die Arbeitsstunden der Modelle miteinander verglichen werden.

Die Ermittlung der Arbeitsstunden im Dechow-Verfahren erwies sich als schwierig:

- Da für die Aufwendungen *trip check*, Reinigen, Polieren, Enteisen und sonstige Wartung nur Kosten angegeben werden, wurden diese über die im Verfahren vorgegeben Stundensätze angepasst.
- Die Größen Umlaufteil-ISH und Technische Neuerungen sind nur Gesamtkosten, die nicht in Kosten für Arbeit und Material unterteilt wurden. Da für den Vergleich diese Aufteilung jedoch notwendig ist, wurden alle restlichen - eindeutig als Arbeits- bzw. Materialkosten identifizierbare - Größen miteinander verglichen und die Verhältnisse ermittelt.

Diese sind für die verschiedenen Flugzeuge unterschiedlich und in der folgenden Tabelle dargestellt.

FZ-Typ	B737-300	A320-200	A300-600SR	A300-600LR	B747-200	B747-400
Anteil Kost _{ARB}	84%	81%	82%	72%	71%	68%
Anteil Kost _{MAT}	16%	19%	18%	28%	29%	32%

Tab. 3.12: Arbeits- und Materialkostenanteile der Dechow-Methode

Diese Anteile wurden zur Aufteilung der Kosten für **Umlaufteil-ISH** und **Technische Neuerungen** in die Arbeits- und Materialanteile verwendet. Die Arbeitskosten wurden wie oben beschrieben in Arbeitsstunden umgewandelt. In der Tabelle ist zu erkennen, dass der Anteil der Materialkosten mit längerer Flugzeit abnimmt. Weiterhin weisen die älteren Flugzeugmodelle (B737-300 gegenüber A320-200 und B747-200 gegenüber B747-400) höhere Anteile für Arbeit auf.

Die Aufteilung in Arbeits- und Materialkosten ist bei den anderen Methoden eindeutig.

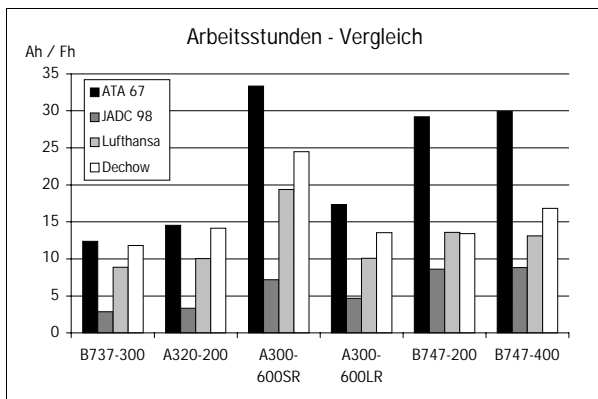


Abb. 3.11: Modellierte Arbeitsstunden

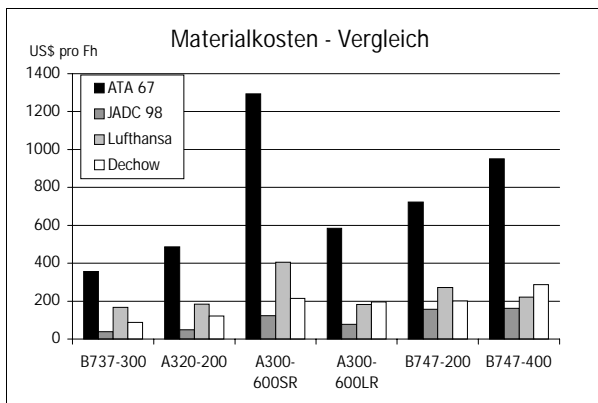


Abb. 3.12: Modellierte Materialkosten

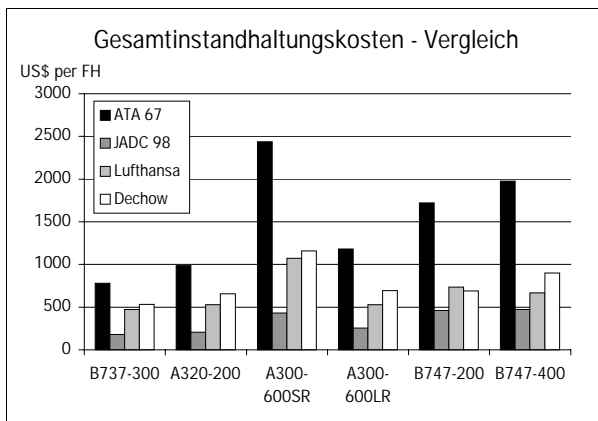


Abb. 3.13: Modellierte Gesamt-ISH-Kosten

Vergleich und Diskussion der Arbeitsstunden und Materialkosten der Modelle

Die *ATA 1967 DMC*-Methode modelliert bei jedem Flugzeug die höchsten Arbeits- und Materialaufwendungen. Dies ist aufgrund des Alters der Methode zu erklären. Wie bereits in *Abb. 3.2: Entwicklung der B727-Wartungsintervalle* gezeigt wurde, haben sich die Liegezeitenintervalle seit 1967 wesentlich erhöht. So weisen Flugzeuge wesentlich geringere Bodenstandzeiten auf. Auch haben sich Zuverlässigkeit und Lebensdauer der einzelnen technischen Systeme deutlich erhöht und tragen so zu geringeren Wartungskosten bei, die durch die späteren Methoden modelliert werden.

Die *JADC 1998 DMC*-Methode modelliert die geringsten Kosten. Die Erklärung dafür ist, dass die Methode nur für „kleine Flugzeuge“ anwendbar ist. Die bei diesem Vergleich verwendeten Flugzeugtypen sind offensichtlich „zu groß“. **Die JADC 1998 DMC-Methode ist somit nicht geeignet, ISH-Kosten für Verkehrsflugzeuge zu modellieren.**

Vergleich Lufthansa 1994 *DMC*- und Dechow-Verfahren

Die Daten für das Lufthansa 1994 *DMC*- und das Dechow-Verfahren stammen aus der gleichen Quelle, nämlich dem Lufthansa-ISH-Betrieb von 1989. Dementsprechend sind die modellierten Kosten ähnlich in Niveau und Verlauf. Auffällig ist dann jedoch die Mehrmodellierung der Arbeitsaufwendungen des Dechow-Verfahrens. Dieses ist allerdings durch die - in dieser Studienarbeit vorgenommene - Aufteilung der Material- und Arbeitskosten bei den Fremdleistungen für Umlaufteil-ISH und den Technische Neuerungen in *Tab. 3.12: Arbeits- und Materialkostenanteile der Dechow-Methode* hervorgerufen worden. Wenn die Gesamtkosten für die beiden Modelle *Abb. 3.13: Modellierte Gesamt-ISH-Kosten* dargestellt werden, schwindet der Unterschied merklich. Die Unterschiede zwischen Dechow und Lufthansa sind als Ergebnis verschiedener Regressionsformeln und deren mathematischen Nachbildung anzusehen. Die Dechow-Methode modelliert alle Flugzeuge bis auf die B747-200 teurer als das Lufthansa 1994 *DMC*-Modell.

Auffällig sind weiterhin die geringeren Kosten der B747-400 im Vergleich zur B747-200 im Lufthansa 1994 *DMC*-Modell, obwohl diese größere *MTOWs* (-400: 385 t, -200: 377 t), kürzere Flugzeiten (-400: 8,28 h, -200: 8,71 h) und spätere Indienststellungsjahre (-400: 1989, -200: 1976) aufweisen. Dieser Effekt ist somit nur über das durchschnittliche Dienstalter (-400: 5,8 Jahre, -200: 18,00 Jahre) zu erklären. Dieses Verhalten ist im Dechow-Modell nicht zu erkennen. Der Grund dafür ist der höhere Flugzeuganschaffungspreis der B747-400 (-400: rd. 241 Mio. DM, -200: rd. 200 Mio. DM) aus dem Jahr 1990, der in die Materialkosten für *IL*, *D-check* sowie in die Kosten für Technische Neuerungen eingeht.

Vergleich und Diskussion des Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisse in den Modellen

Am Beispiel des A300-600SR/LR kann der Effekt des Flugzyklusfaktors bei allen DMC-Methoden deutlich erkannt werden. Es ist auffällig, dass das gleiche Flugzeug bei unterschiedlicher Beschäftigung bei allen Methoden bei der längeren Flugzeit nur knapp die Hälfte der flugstundenbezogenen Kosten aufweist.

Angepasste Modellierung und Vergleich

Um die ATA 1967 und die JADC 1998 DMC-Methode im Kostenniveau anzupassen und um die einzelnen Einflussfaktoren ersichtlich zu machen, werden die ATA-Modellkosten durch 2,2 dividiert und die JADC-Werte mit 1,9 multipliziert. Da beim Vergleich des Kostenniveaus nur die Größenordnung der Kosten wichtig ist, geschah die Anpassung allein optisch und nicht mathematisch. Diese Werte sind in *Abb. 3.14: Angepasste ISH-Kosten* dargestellt.

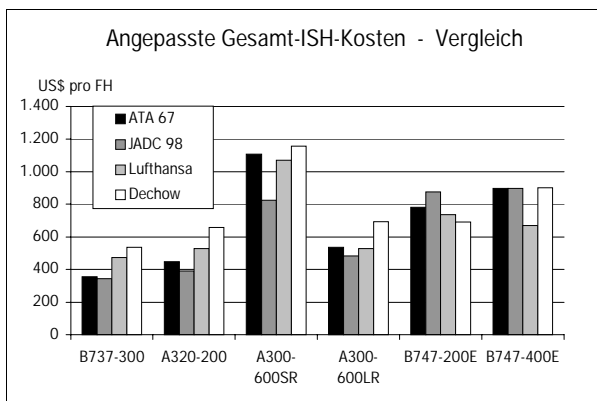


Abb. 3.14: Angepasste ISH-Kosten

Während durch die Korrektur für alle Flugzeuge - bis auf den A300-600SR - durch die Modelle der ATA 1967 und JADC 1998 ungefähr gleiche Kosten modelliert werden, kann man bei eben diesem Kurzstreckenbetrieb des Mittelstreckenflugzeuges A300-600 eine deutliche Abweichung zwischen ATA 1967 und JADC 1998 erkennen. Offensichtlich berücksichtigen die beiden Methoden diesen Aspekt unterschiedlich.

Die Unterschiede zwischen den allgemeinen Methoden (ATA 1967 und JADC 1998) und den speziellen Methoden der Fluggesellschaft (Lufthansa und Dechow) sind durch die betrieblichen Eigenschaften und Strukturen der ISH-Systeme zu erklären.

Durch den Vergleich der ausgewählten Modelle kann man deutlich die unterschiedlichen Kostenniveaus erkennen. Alle Methoden beinhalten Faktoren für die Beschreibung der Größe und der Beschäftigung (Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisse). Nur die speziellen Fluggesellschaftsmethoden beinhalten weitere Einflussparameter, damit möglichst eine Vielzahl von Trends berücksichtigt werden kann. Der Vergleich dient weiterhin als Erläuterung für die Auswahl der Regressionsparameter in den folgenden Kapiteln.

4 Modellbildung

4.1 Die Datenquelle

4.1.1 Allgemeines

Ursprünglich war in der Aufgabenstellung der Studienarbeit die Analyse und Auswertung von Gewinn- und Verlustrechnungen internationaler Fluggesellschaften bzw. der *form 41*-Daten des amerikanischen Verkehrsministeriums DOT³⁵ zur Ermittlung der ISH-Kosten vorgesehen. Diese Daten waren nicht verfügbar. Es musste auf andere Informationen zurückgegriffen werden. Die Datenquelle der in diesem Kapitel behandelten Modellbildung von ISH-Kosten ist das *IATA Product Performance Measurement (PPM)* für ISH-Kosten aus dem Jahr 1996.

4.1.2 Nutzen und Hintergrundinformation zur IATA PPM Datenbank

Diese Datenquelle enthält die Daten 31 internationaler Fluggesellschaften. Die Bereitstellung der Daten beruht auf dem *give-and-take* Prinzip. Jede partizipierende Fluggesellschaft liefert Daten an die IATA und erhält im Gegenzug die der anderen teilnehmenden Fluggesellschaften. Mit Hilfe dieser Informationen und Daten kann man Vergleiche zwischen den einzelnen ISH-Betrieben durchführen (sog. *benchmarking*). Im hiesigen Falle sollen die Informationen dazu genutzt werden, das internationale ISH-Kostenniveau der partizipierenden Fluggesellschaften abzuschätzen.

4.1.3 Umfang und Abdeckung der Kostenanteile der IATA PPM Daten

In der *IATA PPM* von 1996 sind 168 Datensätze von 31 Fluggesellschaften aller Kontinente enthalten. Jeder Datensatz beschreibt eine Teilflotte einer Fluggesellschaft mit den folgenden Größen:

- Flugzeugtyp (*aircraft type*),
- Gesamtflugstunden der Teilflotten des Jahres (*flight hours*),
- durchschnittliche Flugzeit (*flight length*),
- durchschnittliches Dienstalder (*age in years*),
- Reifegrad der Teilflottenflugzeuge (*airframe maturity*),
- tägliche durchschnittliche Flugzeit (*daily utilisation*),
- Teilflottengröße (*number of aircraft*),
- Stundensätze (*labor rate*),
- Arbeitskosten der Zelle (*airframe labor*),

³⁵ Department of Transportation, amerikanisches Verkehrsministerium

- Materialkosten der Zelle (*airframe material*),
- Fremdleistungen der Zelle (*airframe subcontracted*),
- Arbeitskosten der Umlaufteile (*component labor*),
- Materialkosten der Umlaufteile (*component material*),
- Fremdleistungen der Umlaufteile (*component subcontracted*).

Die letztgenannten Kostengrößen decken nur den Bereich der *light* und *heavy maintenance*, sowie die Aufwendungen für die Umlaufteil-ISH ab. Die Größen für Schleppen und Rangieren sowie den sonstigen Wartungsereignissen, sofern sie zur *light* und *heavy maintenance* gehören, sind darin enthalten.

Weiterhin sind Kosten für Technische Neuerungen als *modifications* enthalten. Sie wurden allerdings für diese Studienarbeit nicht bereitgestellt.

Nicht enthalten sind:

- *line maintenance*, *trip*, *Z-(ramp)* und *service check*,
- Kosten für Reinigen, Polieren und Enteisen.

Diese Angaben werden in den folgenden zwei Kapiteln genau untersucht und diskutiert.

4.1.4 Genauigkeitsabschätzung und Zuverlässigkeit der Quelle

Die *IATA PPM* Datenbank ist das Ergebnis von Datenerhebungen einer Vielzahl internationaler Fluggesellschaften. Jede partizipierende Fluggesellschaft hat eigene Kostenstrukturen und Kostenzuweisungen. Das heißt, dass dabei auch die Organisation des jeweiligen ISH-Betriebs unterschiedlich ist. Für der Erstellung des *IATA PPM* Datensatzes müssen alle Daten vereinheitlicht werden und dabei kommt es zu Ungenauigkeiten. Weiterhin kann es bereits in der Fluggesellschaft zu Fehlern bei der Dokumentation und Zuordnung zu den einzelnen Kostenpositionen kommen.

Die Frage nach dem Maß an Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Quelle kann nicht genau beantwortet werden. Es ist nicht auszuschließen, dass Datensätze aus den oben diskutierten Gründen inkonsistent sind. Dennoch wird dieser Datensatz verwendet, weil er

- der einzige war, der zur Verfügung stand,
- sehr umfangreich ist.

Die Fülle an Datensätzen sorgt dafür, dass die Inkonsistenzen nivelliert werden.

4.1.5 Quellenanalyse

Inhouse/Subcontract-Verhältnis

Die Quelle zeigt, dass die Flugzeug-ISH zu einem Teil im eigenen Betrieb durchgeführt wird. Dies entspricht den Kostentermen Arbeit und Material (*airframe labor/material*, *component labor/material*). Weiterhin können die ISH-Maßnahmen durch Fremdfirmen durchgeführt werden. Dies entspricht den Kostentermen *subcontracted*. Die Anteile dieser Kosten an den Gesamtkosten geben an, ob eine Fluggesellschaft mehr „*inhouse*“³⁶ instandhält oder mehr an Fremdfirmen vergibt. Die Extrema sind 100% *inhouse*, bzw. 100% *subcontracted*, wie es bei der Lufthansa der Fall ist.

Bei der *inhouse*-ISH werden Kosten direkt verbucht, die durch die Wartung und Überholung des einzelnen Flugzeugmusters hervorgerufen werden. Der ISH-Aufwand wird hierbei an einem betriebsinternen Kostenmaßstab gemessen.

Bei der *subcontracted*-ISH müssen vom Betreiber Preise bezahlt werden, die bereits über Aufschläge für Gewinn und Gemeinkosten verfügen und die für Fluggesellschaften nicht nachvollziehbar sind. Der Preis ist oftmals nicht von den entstehenden Kosten geprägt, sondern von der Markt- und Wettbewerbssituation.

Es werden zum Vergleich Eigen-ISH/Fremd-ISH nun folgende Überlegungen angestellt.

Grundsätzlich muss die Fremdvergabe unter sonst gleichen betrieblichen Bedingungen teurer sein als die Eigen-ISH. Zu den Kosten, die bei der ISH entstehen, muss bei Fremdvergabe zusätzlich ein anderes Unternehmen finanziert werden. Dies geschieht durch die Preispolitik des ISH-Unternehmens. Allerdings kann man auch weiterhin feststellen, dass sehr viele Luftfahrtgesellschaften - gerade kleinere Unternehmen - die ISH an Fremdfirmen vergeben. Hierbei ist es dann so, dass die Wartung und Überholung kein untergeordneter Geschäftsbereich einer Fluggesellschaft ist, sondern Hauptunternehmensbereich des Betriebs. Die Motivation, d.h. die Forderung, Gewinne zu erzielen, gestaltet den ISH-Ablauf in einem reinen ISH-Unternehmen wesentlich effizienter, d.h. auch kostengünstiger. So kann dieses Unternehmen die Leistungen billiger anbieten, als die innerbetriebliche Kosten ausmachen würden.

Flugstunden/Flugzyklus

Mit der Angabe der jährlichen Flugstunden der Flotte und der Flottengröße lässt sich die durchschnittliche jährliche Beschäftigung des einzelnen Flugzeugs bestimmen. In Kombination mit der durchschnittlichen Flugzeit (*flight time*) kann man die Zyklen pro Jahr bzw. pro Tag bestimmen.

³⁶ *inhouse maintenance* (= engl. für ISH im eigenen Betrieb)

Trägt man die Flüge pro Tag über der durchschnittlichen Flugzeit auf, entsteht *Abb. 4.1: Vergleich der Beschäftigung der IATA PPM und Lufthansa 1996*. Der Verlauf dieser Kurve gibt an, wie viele Flüge pro Tag bei einer gegebenen Flugzeit stattfinden. Je größer die Zyklenzahl, desto **effizienter** ist der Flugbetrieb.

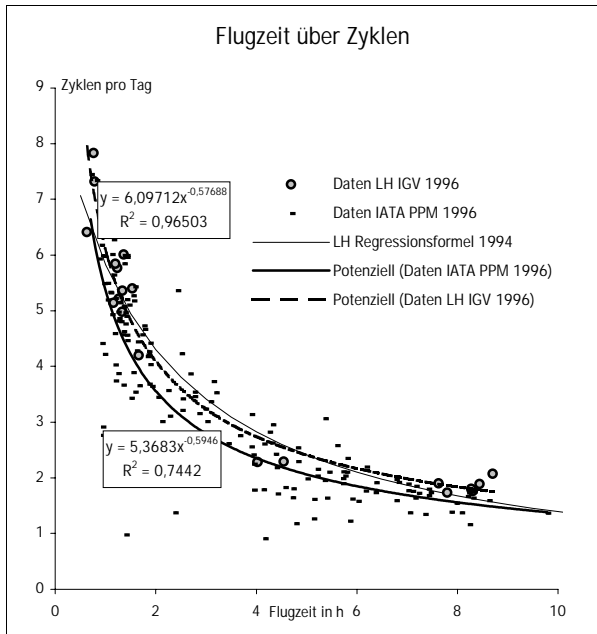


Abb. 4.1: Vergleich der Beschäftigung der *IATA PPM* und *Lufthansa 1996* Daten

Im Diagramm sind die Daten

- des *IATA PPM 1996*, sowie der dazugehörigen Regressionsgeraden (*Potentiell Daten IATA PPM 1996*) mit ihrer Regressionsformel und dem Bestimmtheitsmaß R^2 ;
- der Beschäftigungen der *Lufthansa* Passagierflotte - wie sie im Instandhaltungsgeneralvertrag (IGV) von 1996 zur Festlegung der ISH-Preise angegeben wurden - ebenfalls mit der Regressionsgeraden (*Potentiell LH IG 1996*);
- des Flugzeit-Zyklen-Modells aus dem *Lufthansa 1994 DMC-Modell (LH Regressionsformel 1994)*

dargestellt.

Die Regressionsgeraden haben allerdings im nahen Bereich von „Flugzeit gleich Null“ keine Aussagekraft mehr, da die Zyklenzahl gegen unendlich strebt. Das ist durch den Ansatz der Ausgleichskurve bedingt. Im Bereich von Flugzeit 0,8 bis 10 Stunden ist die Abdeckung jedoch akzeptabel und so können die Regressionsformeln als Vergleichgrundlage angesehen werden. Die Regressionsformeln wurden durch das Programm *Microsoft-EXCEL* ermittelt. Diese Darstellung eignet sich sehr gut für eine erste grobe Abschätzung und ist leicht zu ermitteln.

Vergleichbar sind die Daten allerdings nur, wenn alle *IATA PPM* Fluggesellschaften und die *Lufthansa* den Begriff *flight time* gleichermaßen definieren; nämlich die Zeit vom Abheben bis zum Aufsetzen des Flugzeugs. Diese Zeitdefinition ist klar von der Blockzeit abzugrenzen, die neben dem Anteil der Flugzeit noch zusätzlich Roll- und Triebwerksanlasszeit berücksichtigen. Da bei Inlandsflügen der *Lufthansa* die Blockzeit um ca. 15 min. größer ist als die Flugzeit (bei Langstreckenflügen sind diese Zeiten noch länger), würde das die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verhindern. Da die Definition nach Recherche des Autors in ISH-Kreisen weitestgehend eindeutig ist und es sich hierbei um eine große Anzahl von Datensätzen handelt, sind die Werte vergleichbar.

Aus dem Diagramm ersieht man, dass die Auslastung der *Lufthansa* überdurchschnittlich gut ist. Während im Bereich der Langstrecke durchschnittlich ein „halber Flug“ pro Tag mehr durchgeführt werden kann, liegt die Anzahl im Regional- und Kurzstreckenbereich bei bis zu einem Flug mehr pro Tag. Lediglich im Mittelstreckenbereich liegen die Datenpunkte nahe der Regressionsgeraden der *IATA PPM* Daten.

Alter und Reifefaktor

In der Datensammlung sind weiterhin durchschnittliches Alter und Reifegrad der Flotte enthalten. Zum Reifegrad gilt folgendes.

Die Flugzeug-ISH-Kosten werden immer für ein reifes Flugzeug ermittelt (sog. Reifekosten). Der Reifefaktor ist eine Funktion der kumulierten Flugstunden. Flugzeuge, die mehr als 16.000 Flugstunden hinter sich gebracht haben, werden als reif bezeichnet. Das sind je nach *utilisation* 3,5 bis 8 Jahre. Das Flugzeug ist dann nicht mehr neu, sondern es werden erste ISH-Aufwendungen nötig, die durch Verschleiß entstanden sind. Ein neues Flugzeug, das sich dadurch auszeichnet, noch „unverbraucht“ zu sein, bietet wenig Möglichkeit, einen kostenbasierten Vergleich durchzuführen. Demzufolge muss der Vergleich immer in der Reifezeit stattfinden. Außerhalb dieses zeitlichen Rahmens müssen die Kosten angepasst werden, d.h. sie werden auf den Normalzustand gebracht. Dies geschieht durch sog. Reifefaktoren. Der Verlauf des Reifefaktors der *IATA PPM* ist in *Abb. 4.2: Reifefaktor des IATA PPM* grafisch über den kumulierten Flugstunden dargestellt.

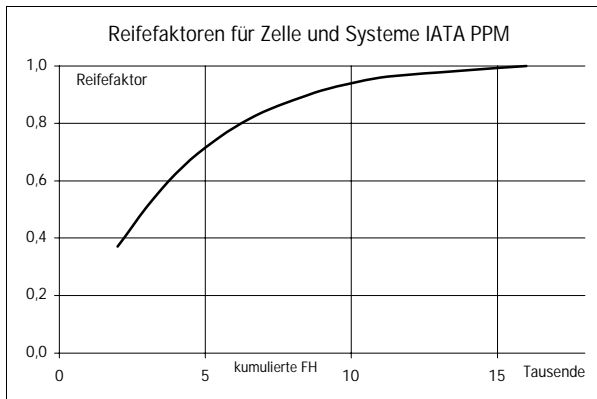


Abb. 4.2: Reifefaktor des IATA PPM

Somit gibt die Datenquelle in den Fällen „Reifegrad kleiner eins“ auch Information darüber ab, wie viele durchschnittliche kumulierte Flugstunden das Fluggerät bereits geleistet hat. Neben dem Reifegrad wird das Durchschnittsalter der Flotte angegeben. Dieses ist eine Hilfsgröße (Umrechnung über die *utilisation*), die den „Abgenutztheitsgrad“ des Flugzeugs beschreiben soll. Dass letztendlich die kumulierten Flugstunden entscheidend für ISH-Maßnahmen sind, ersieht man daraus, dass ein Großteil an ISH-Intervallen in Flugstunden anstatt in Kalenderzeit angegeben ist.

Stundensatz (*laborrate*)

Der Mannstundenanteil der ISH-Maßnahmen eignet sich neben den Materialkosten am besten zum Abschätzen der ISH-Aufwendungen. Um diesen Aufwand in eine bewertbare Kostengröße umzuwandeln, werden für einen Betrieb durchschnittliche Stundensätze kalkuliert. Diese Lohnkosten³⁷ decken alle ISH-betrieblichen Aspekte und Aufwendungen ab, **außer** Kosten für:

- Pensionsrücklagen,
- zusätzliche Personalvorhaltung für Urlaub und Krankheit,
- Aufwendungen für Grund und Boden, Gebäude (Hangars, etc...),
- Sozialleistungen,
- sonstigen Gemeinkosten (*inhouse-overhead*), weil sie³⁸ getrennt angegeben werden.

Nachdem die Kosten in Mannstunden je Flugstunde (MH/FH) umgewandelt wurden, bleibt die Vergleichbarkeit der Mannstundenzeiten weiterhin problematisch. So existieren Unterschiede in

- klimatischen Bedingungen, in denen der Flugbetrieb stattfindet,

- Flottengröße,
- Verfügung über geschultes Personal,
- gesetzlichen Vorschriften des jeweiligen Landes,
- der ISH-Philosophie des Betriebs,

die bei gleicher Beschäftigung gleicher Flugzeugmuster verschiedene Aufwendungen bedingen.

Durchmischte Flotten

Die Datensätze stellen jeweils die Informationen einer Teilflotte dar. Die Teilflotten bestehen aus einem Flugzeugmuster, allerdings in mehreren Versionen. Mehrere Datensätze der A300 Teilflotte setzten sich zusammen aus den Informationen über die Versionen A300B2-200, A300B4-100, A300B4-200. Diese Flugzeugversionen sind in Auslegung und Betrieb so unterschiedlich, dass sie nicht in einem Datensatz zusammengefasst werden können. Nachfolgend sind Werte dargestellt, die den Unterschied der Flugzeugtypen aufzeigen sollen.

Parameter	B2-100	B4-100	B4-200
Design-Reichweite (km)	3334	4818	5095
MTOW	137	153	165
Max. Flächenbelastung (kg/m ²)	542	606	635
Erstflug	1973	1974	1978
sonst. Eigenschaften	Grundversion	verstärkte Struktur (Zelle, Flügel, Fahrwerk)	
Vorflügelklappen	<i>slats</i>	<i>slats</i>	Krueger-Klappen

Tab. 4.1: Unterschiede der A300 Versionen

Zu den Unterschieden ist folgendes anzumerken:

- Es handelt sich bei der B2 um eine Kurzstreckenversion und bei der B4 um eine Mittelstreckenversion.
- Die B4-Version ist eine verbesserte Weiterentwicklung der B2.
- Die unterschiedlichen Abflugmassen und die dementsprechenden strukturellen Verstärkungen sowie die unterschiedlichen Vorflügelklappen verursachen andere ISH-Prozeduren und -kosten.
- Die Angabe nur einer durchschnittlichen Flugzeit bei Reichweitenunterschieden von (5095 – 3334 = 1761) km lassen keine klaren Betriebsangaben zu den eigentlichen Flugstunden-Flugzyklus-Einflüssen zu.

Aus diesen Gründen ist die Verwertung dieses Datensatzes fragwürdig. Ähnliches gilt für die durchmischten Datensätze der MD82, -83, -87, -88, A340-200, -300 und B747-200, -300.

³⁷ aus der Anlage zum IATA PPM

³⁸ Diese Kostengrößen lagen für die Arbeit nicht vor.

4.1.6 Parameterauswahl

Mit den in der Quelle enthaltenen Daten ist eine vollständige Analyse der Daten nach den oben vorgestellten ISH-Kostenmodellen noch nicht möglich. So enthält das *IATA PPM* keine Angaben über Betriebsgewichte und Entwicklungsalter. Im folgenden werden die Parameter vorgestellt und diskutiert, die als Variablen zur Modellfindung herangezogen werden:

MTOW

Die Bedeutung des maximalen Abfluggewichts wurde als Maß für die Größe des Flugzeugs bereits im Zusammenhang mit den *DMC*-Modellen diskutiert. So soll jedem Datensatz das *MTOW* der Teilflottenflugzeuge zugewiesen werden, da die Gewichte nicht Bestandteil der Informationen sind. Die genaue Zuweisung stellt sich jedoch als nicht machbar heraus, weil jede Musterversion viele verschiedene *MTOWs* vorweisen kann. So wurden z.B. für den Mustertyp B737-200 *Advanced* 14 verschiedene *MTOWs* zwischen 48,0 t und 58,105 t recherchiert. Die Gründe für diese Verfahrensweise liegen darin, dass bei niedrigem Abfluggewicht die Flugsicherungs- und Landegebühren sinken. Da sich der Flugzeuganschaffungspreis unter anderem aus seiner Produktionsleistung (Produkt aus Nutzlast, Reichweite und dem Kehrwert der Geschwindigkeit) bestimmt, und die Nutzlast bei festem *OEW* und fester Tankkapazität eine Funktion des *MTOWs* ist, ist die maximale Abflugmasse auch ein Faktor für den Flugzeuganschaffungspreis. Der Flugzeuganschaffungspreis geht wiederum in die Kapitalkostenanteile der *DOC* ein. Durch unterschiedliche *MTOWs* kann man somit mit einem Flugzeugmuster mehrere Marktsegmente bedienen.

Gerade bei japanischen Fluggesellschaften, die große Nutzlasten für geringe Reichweiten (und damit geringere Tankkapazität) bei Inlandsflügen benötigen, ist das „*MTOW-flat rating*“ ein Mittel zur Kostenreduzierung. So kann man für eine B747-400, die mit einem *MTOW* bis zu 396 t ausgelegt ist, maximale Abflugmassen bis hinunter zu 272 t beobachten.

Betrachtet man den *MTOW*-Einfluss als Eingangsparameter, müssen verschiedene maximale Abflugmassen definiert werden.

- Zum einen wird eine Musterversion grundsätzlich mit nur einer Struktur und einem Fahrwerk ausgelegt, weil sonst die Entwicklungs- und Herstellungsstückkosten zu hoch wären. Das Gewicht, für das die Struktur ausgelegt wird, stellt das maximale *MTOW* dar, was jemals durch diese Musterversion bedient werden kann. So erscheint dieses vom Hersteller als Obergrenze angegebenen Gewicht als geeignetes Maß für einen Größenfaktor. Diese Größe wird im folgenden mit **MTOW_{max.manuf.}**³⁹ bezeichnet.

- In Ergänzung dazu verfügen Fluggesellschaften meistens über Flugzeuge mit ähnlichen Abflugmassen in einer gewissen Größenordnung. Da die Struktur bei den leichteren Flugzeugen bei gleicher struktureller Auslegung weniger stark beansprucht wird, ist es geboten, eine maximale Abflugmasse zu definieren, die bei der Fluggesellschaft maximal eingesetzt wird. Diese Größe wird im folgenden mit **MTOW_{max.airline}** bezeichnet.

OEW

Die Bedeutung des Betriebsleergewichts (engl.: *operating empty weight*: *OEW*) entspricht dem Größenfaktoraspekt des *MTOW*.

Noch bis zum Jahr 1994 hat das *DMC*-Modell der Lufthansa die Größe des Flugzeugs u.a. mit dem *OEW* beschrieben, weil die Korrelation höher war. Weiterhin beschreibt das *OEW* die eigentliche Größe eines Flugzeugs viel besser, da im *MTOW* bereits Kraftstoff und Nutzlast enthalten sind und die eigentliche Größenbeschreibung unschärfer wird. Das *OEW* als Größenmaß hat allerdings den Nachteil, dass je nach Auslegung und Ausrüstung der Kabine, jede Fluggesellschaft andere *OEWs* bei gleichen Mustern vorweist. Über den Einfluss des **Strukturleergewichts** (*weight airframe*: *W_{AF}*), dessen sich die *ATA* 1967 und *JADC* 1998 *DMC*-Methoden bedienen, kann keine Aussage gemacht werden, da diese Daten für einige Flugzeugmuster nicht recherchierbar waren.

Maximale Nutzlast

(*max. PL*) Der letzte hier behandelte Gewichts- und Auslegungsparameter ist die maximale Nutzlast, die den Einfluss von Größe und Struktur beschreiben soll. Es handelt sich hierbei um eine einfach zu recherchierende Größe; aus diesem Grund wird sie als potentielle Eingangsgröße ausgewählt.

Anzahl der Triebwerke

Diese Variable wurde deshalb gewählt, weil die Anzahl der Pylone (Triebwerksaufhängung am Flügel) einen Einfluss auf die ISH-Kosten der Zelle und Systeme haben kann, denn der Arbeitsaufwand bei Triebwerkswechseln bei 4-strahligen Flugzeugen ist doppelt so hoch wie bei 2-strahligen und per definitionem wird der Aufwand der Triebwerks-ISH - wenn das Triebwerk sich noch am Flugzeug befindet - der Zellen-ISH zugerechnet.

Als weitere Einflussgrößen für ISH-Kosten werden die **Arbeitslöhne** (*laborrates*), **Flugzeit** (*flight time*), durchschnittliches Flugzeugalter (*age*) und **jährliche Auslastung** (*utilization*) gewählt, deren Einfluss bereits in *Kap. 4.1.5 Quellenanalyse* ausführlich diskutiert wurde.

³⁹ *manuf.*, Abkürzung für *manufacturer* (= engl. für Hersteller)

Entwicklungsalter

Das Entwicklungsalter (*development age*) ist die Zeitspanne zwischen Erstflug des Prototypen und dem Zeitpunkt der Datenerhebung. Das Entwicklungsalter beschreibt die Neuheit eines Fluggeräts und dessen technischer Systeme. Die verschiedenen Entwicklungsalter stehen z.B. in der Luftthansa *DMC*-Methode für den unterschiedlichen Stand der Technik der einzelnen Flugzeugmuster.

Die Anzahl der Datensätze wurde von über 130 auf 96 reduziert. Ausgeschlossen wurden Flugzeugmuster, die

- ihr Erstbetriebsjahr hatten,
- in einer Teilflotte von weniger als 3 Flugzeugen betrieben wurden,
- wie in *Kap. 4.1.5 Quellenanalyse Durchmischte Flotten* diskutiert, nicht eindeutig beschrieben worden sind,
- keine Stundensätze aufweisen.

Zur besseren Übersichtlichkeit sind alle Regressionsparameter insgesamt tabellarisch mit Minima und Maxima aufgelistet:

Eingangsparameter	Minimum	Maximum
<i>MTOW</i> .max.manuf. in kg	54.885	396.893
<i>MTOW</i> .max.airline in kg	48.988	396.893
<i>OEW</i> in kg	25.400	178.661
Maximale Nutzlast in kg	12.743	69.400
Alter in a	1	25,9
Entwicklungsalter in a	1	30
<i>utilisation</i> in h	277	5.904
Flugzeit in h	0,66	13,39
Lohnkosten in US\$/Ah	0,41	64,3
Flottengröße	3	101
Reifefaktor (kum. FH)	0,395 (= 2.100)	1 (≥ 16.000)

Tab. 4.2: Eingangsparameter mit Minimum und Maximum

4.2 Durchführung der Regression

4.2.1 Nutzen des Modells

Im folgenden soll aus dem *IATA PPM* Datensatz ein Kostenabschätzungsmodell hergeleitet werden, mit dessen Hilfe man das Niveau und Verhalten der ISH-Kosten der Zelle und Systeme kommerzieller Luftfahrzeuge abschätzen kann. Dieses Modell soll aus Regressionsgleichungen bestehen, die nachfolgend ermittelt werden.

Das ISH-Kostenmodell soll folgende Eigenschaften haben:

- Es soll die Höhe des ISH-Kostenniveaus der Datensammlung mit den wichtigen Einflüssen wie Größe, Alter, Entwicklungsalter und Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnis abbilden können.

- Die Zahl der Einflussparameter soll gerade groß genug sein, um die geforderte Aussagegenauigkeit zu erreichen.
- Es soll aufgrund der technisch-wirtschaftlichen Bewertung auf die Hauptentwurfs- sowie die wichtigen Betriebsparameter beschränkt sein.
- Es soll Grundlage zur weiterführenden Bearbeitung der ISH-Kostenproblematik sein. Durch Anpassung an andere Informationsquellen, wie z.B. Firmenbilanzen, soll das Kostenniveau anderer Betreiber modelliert werden können.

Da sich nun die genaue Auswertung der Daten anschließen soll, wird im nächsten Kapitel kurz auf die dabei verwendeten statistischen Mittel eingegangen.

4.2.2 Statistische Grundlagen

4.2.2.1 Allgemeines

Sehr häufig müssen in der Wissenschaft Zusammenhänge zwischen einzelnen Größen ermittelt werden. Die exakten Zuordnungsvorschriften, z.B. durch eine mathematische Funktion, können häufig nicht aufgestellt werden, da kein wissenschaftliches Modell als Grundlage vorhanden ist. Man bedient sich deshalb der Durchführung von Regressionen, die mit Hilfe von vorgegebenen Gleichungen eine Abhängigkeit modellieren, die einen vermuteten Zusammenhang bestmöglich beschreiben sollen. Dabei ist darauf zu achten, dass Einflüsse physikalisch und technisch erklärbar bleiben; es müssen die Ergebnisse auf Plausibilität überprüft werden.

4.2.2.2 Regressionsanalyse

Grundlage eines solchen statistischen Modells soll die Abhängigkeit einer Ausgangsgröße von verschiedenen oder auch nur einer Eingangsgröße sein. Das Ergebnis der Regressionsanalyse ist eine Rechenvorschrift auf der Basis verschiedener Variablen, die in der Statistik auch **Eingangsparameter** genannt werden. Mit diesem angenäherten Modell lassen sich im Rahmen der ermittelten Regressionsformeln in einem zuverlässigen Wertebereich Aussagen darüber machen, wie sich die Ausgangsgröße verändert (qualitativ und quantitativ), wenn sich gewisse Eingangsparameter ändern. So lassen sich auch dann Veränderungen der Ausgangsgröße beschreiben, wenn die Eingangsgrößen weit von den Quelldaten entfernt liegen. Als Regressionsansatz kann man unterscheiden zwischen einem

- **linearen** Ansatz: Ausgangsgröße ist Summe von linearen Funktionen der Eingangsgrößen,

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n$$

Gleichung 4.1

- **einfach logarithmischen** Ansatz: Ausgangsgröße ist die Linearkombination von e-Funktionen der Eingangsgrößen,

$$y = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot x_1} \cdot \dots \cdot e^{a_n \cdot x_n}$$

Gleichung 4.2

- **zweifach logarithmischen** Ansatz, Ausgangsgröße ist Linearkombination von Potenzfunktionen der Eingangsgrößen.

$$y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}$$

Gleichung 4.3

Die Parameter x_1 bis x_n sind die Beobachtungswerte, die Konstanten a_1 bis a_n werden in der Regressionsanalyse ermittelt.

Alle drei Ansätze basieren auf dem linearen Grundansatz. Die beiden letztangeführten können durch Logarithmieren in die erste Form überführt werden. Liegen mehrere Beobachtungen vor, ergibt sich ein Gleichungssystem. Ist das Gleichungssystem überbestimmt - das ist eine Voraussetzung für die Regression - wird mittels der **Methode der kleinsten Fehlerquadrate** das Gleichungssystem gelöst.

Soll hier eine Abbildungsvorschrift für die ISH-Kosten in Abhängigkeit von den wichtigen Parametern im Flugbetrieb, wie z.B. *MTOW*, Flugzeit, *utilisation*, etc. ermittelt werden. Die „Wichtigkeit“ solcher Einflussparameter wird in der sogenannten Signifikanzanalyse bestimmt.

4.2.2.3 Signifikanzanalyse

Ist eine Regressionsformel ermittelt worden, muss nachgeprüft werden, ob die beteiligten Parameter signifikant voneinander abhängig sind und in wie weit sie die Ausgangsgröße beeinflussen. Diese Aussage kann mit dem **Korrelationskoeffizienten** getroffen werden. Der **totale Korrelationskoeffizient** ist ein Maß für die Güte einer statistischen Aussage über den Zusammenhang zweier Parameter (bivariate Korrelation). Die Werte des Korrelationskoeffizienten liegen zwischen Null und eins, wobei bei Anstieg gegen eins die Korrelation steigt.

Handelt es sich um eine Regression mit mehreren Parametern (multivariat), ist zusätzlich der Einfluss der Parameter untereinander zu überprüfen. Dies geschieht mit Hilfe des **partiellen Korrelationskoeffizienten**, der den Zusammenhang zwischen der einzelnen Variable und der Zielgröße unter Elimination der anderen Variablen ermittelt. Ist ein partieller Korrelationskoeffizient kleiner als eine vorher bestimmte **Signifikanzgrenze**, muss der Parameter als nicht-signifikant ausgeschlossen werden. Das Signifikanzgrenzniveau lässt sich aus der Stichproben- und Parameteranzahl sowie der Irrtumswahrscheinlichkeit der Datensammlung ermitteln. Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist ein Maß für Inkonsistenz der auszuwertenden Daten. Die Irrtumswahr-

scheinlichkeit strebt bei immer genaueren Datenerhebungen gegen Null. Ein normaler Wert für Kostenbetrachtungen für die ISH ist der Wert 0,1, mit dem auch hier gerechnet wurde.

Vom Prinzip her fällt die Signifikanzgrenze mit steigender Stichprobenanzahl, sinkender Parameterzahl und Irrtumswahrscheinlichkeit. Hat man signifikante Einflussparameter ermittelt, wählt man diejenigen Parameter aus, die beim Ergebnis die geringste Abweichung vom Datensatz haben. Als Maß für die Abweichung nimmt man die Größe der **Standardabweichung** oder den **standardisierten Fehler** (Wurzel aus der Standardabweichung). Man ermittelt für verschiedene Parameteranzahlen die Standardabweichungen und wählt den Fall für die geringste Standardabweichung als Regressionsmodell aus. Diesen Vorgang nennt man **Varianzanalyse**. Durchgeführt wird eine Varianzanalyse, indem man eine Regression mit allen Parametern beginnt und dann nachfolgend denjenigen Parameter aus der Regression ausschließt, deren Bestimmtheitsmaß R^2 (Quadrat des partiellen Korrelationskoeffizienten) am geringsten ist.

Hier wurde bewusst auf die mathematische Definition der statistischen Größen verzichtet, weil das den Umfang dieser Arbeit sprengen würde. Zur Auswertung der Daten wurde das Statistikprogramm SPSS 6.1 verwendet.

4.2.3 Die Kostenmodellierung

4.2.3.1 Allgemeines

Bei der Kostenmodellbildung zur Analyse der Datenquelle wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt und die beste Alternative ausgewählt.

Anpassung der Arbeitskosten

Durch die unterschiedlichen Stundensätze (*laborrates*) der Fluggesellschaften muss ein einheitliches Lohnkostenniveau gefunden werden. Die einfache Mittelwertbildung der Lohnkosten ergibt einen durchschnittlichen Satz von **US\$/MH**. Gewichtet man die Lohnkosten mit den geflogenen Flugstunden der Teilflotten (flugstundengewichtete durchschnittliche Stundensätze),

$$\text{laborrate}_{\text{gewichtet}} = \frac{\sum \text{laborrate} \cdot \text{FH}}{\sum \text{FH}}$$

Gleichung 4.4

erhält man den Wert **US\$/MH**. Hier wurde der gewichtete Mittelwert ausgewählt, um dem Mengenaspekt der entstehenden Kosten gerecht zu werden.

Reifefaktoranpassung

Die Kosten werden mit dem Reifefaktor gewichtet, um sie auf das Reifeniveau anzupassen.

Fremdleistungsgemeinkosten (*overhead*)

Die Fremdleistung enthält neben dem Gewinn auch ISH-Gemeinkostenanteile (*overhead*). Nach Auswertungen der Datensätze hat das *IATA PPM* folgende Anteile in den Fremdleistungspreisen ermitteln können:



Abb. 4.3: Aufteilung der Fremdleistungen

Der eigentliche *DMC*-Anteil beträgt nach Aussagen der *IATA PPM* Arbeitsgruppe mit den Anteilen der Arbeits- und Materialkosten von rd. ■% nur ein Drittel der *subcontracted*-Kosten. Die restlichen zwei Drittel setzen sich aus den Gemeinkosten, Materialprovisionen und den Gewinnaufschlägen zusammen. Nun stellt sich die Frage, ob diese zusätzlichen Kosten, die den Fluggesellschaften entstehen, im Modell mitberücksichtigt oder herausgerechnet werden sollen.

Im Rahmen des immer stärker werdenden *ISH-outsourcing*⁴⁰ entstehen den Fluggesellschaften absehbar - mit den in *Abb. 4.3: Aufteilung der Fremdleistungen* angegebenen Anteilen - erhöhte Kosten. Da viele große internationale Fluggesellschaften die *ISH* abgeben, ist es sinnvoll, die unangepassten *ISH*-Preise als Kostengrößen (also zu 100%) bei der Regression zu berücksichtigen.

Modellstruktur

Die vorgestellten *DMC*-Modelle besitzen einzelne Kostenterme für Arbeit und Material. Die beiden Anteile bilden die Gesamt-*ISH*-Kosten.

Es bestanden nun mehrere Möglichkeiten zur Strukturierung des Modells. Zum einen konnte jeder einzelne Kostenterm mit seinen Anteilen an Zelle und Komponenten (Systemen) in einer Regressionsanalyse mit den oben diskutierten Parametern untersucht werden (*siehe Abb. 4.4: Summenmodell 1*).

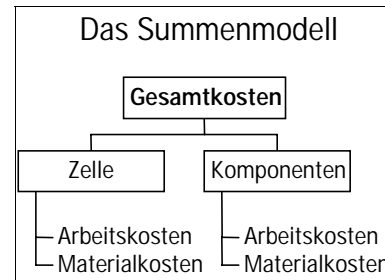


Abb. 4.4: Summenmodell 1

Des Weiteren konnten alle Arbeitskosten - nicht mehr getrennt nach Zelle und Komponenten (Systemen) - untersucht werden (*siehe Abb. 4.5: Summenmodell 2*).

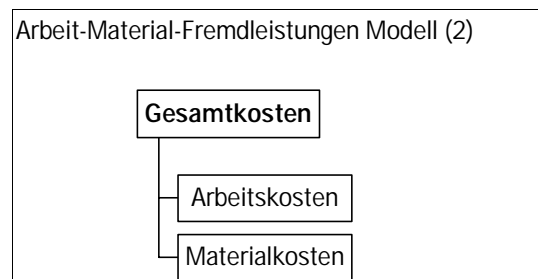


Abb. 4.5: Summenmodell 2

Die am wenigsten diversifizierte Methode ist das sogenannte Gesamtkostenmodell, in dem alle Kostenanteile zusammengefasst in der Regressionsanalyse untersucht werden (*siehe Abb. 4.6: Gesamtkostenmodell*).

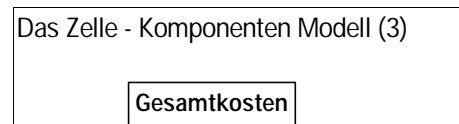


Abb. 4.6: Gesamtkostenmodell

Die verschiedenen Modelle wurden mit dem linearen, einfach logarithmischen und zweifach logarithmischen Ansatz untersucht. Das Genauigkeitsmaß des Ansatzes war der standardisierte Fehler. Es hat sich herausgestellt, dass der zweifach logarithmische Ansatz zu den besten Ergebnissen führt. Weiterhin mussten alle Modelle auf ihre Güte untersucht werden. Es hat sich herausgestellt, dass das Modell 3 den geringsten standardisierten Fehler mit 0,13888 lieferte. Diese standardisierten Fehler wurden anhand der bereits logarithmierten Werte vom Programm SPSS 6.1 errechnet. Es ist somit keine Kostengröße, durch die der Fehler beschrieben wird, sondern nur ein Vergleichsniveau zwischen den Genauigkeiten der einzelnen Modelle, das aber aussagefähig ist. Die standardisierten Fehler sind in *Tab. 4.3: Standardisierte Fehler der Regressionsmodelle* dargestellt.

⁴⁰ *outsourcen* (= engl. für auslagern): Auslagern des *ISH*-Geschäftsbereichs aus dem Kernunternehmen

St. Fehler	Modell 1	Modell 2	Modell 3
Gesamtkosten	-	-	0,13888
Arbeitskosten	-	0,24855	-
Materialkosten	-	0,24867	-
Struktur Arbeit	0,22363	-	-
Struktur Material	0,28334	-	-
Komponenten Arbeit	0,24588	-	-
Komponenten Material	0,31274	-	-

Tab. 4.3: Standardisierte Fehler der Regressionsmodelle

Man sieht an den Zahlen deutlich, dass das Gesamtkostenmodell wesentlich geringere Fehler erzeugt. Bei der Addition der Summenmodelle 1 und 2 kann man Aussagen über die Größenordnung der Arbeits- und Materialkosten machen; die Vorhersagegenauigkeit ist allerdings wegen der höheren Abweichungen wesentlich geringer. In diesem Fall wird das Gesamtkostenmodell 3 weiterverwendet, weil es den - zu Beginn dieses Kapitels - formulierten Modellbedingungen am besten entspricht. So wäre bei der Verwendung der Summenansätze zusätzlich die Eingangsparameterzahl höher.

4.2.3.2 Varianzanalyse des Gesamtkostenansatzes

In Abb. 4.7: Standardisierte Fehler bei der Varianzanalyse sind die standardisierten Fehler aller Parameterkombinationen aufgetragen, um die beste Parameterkombination zu veranschaulichen. Die an der Kurve befindlichen Parameterbezeichnungen geben die Variable an, die in diesem Analyseschritt ausgeschlossen wurde.

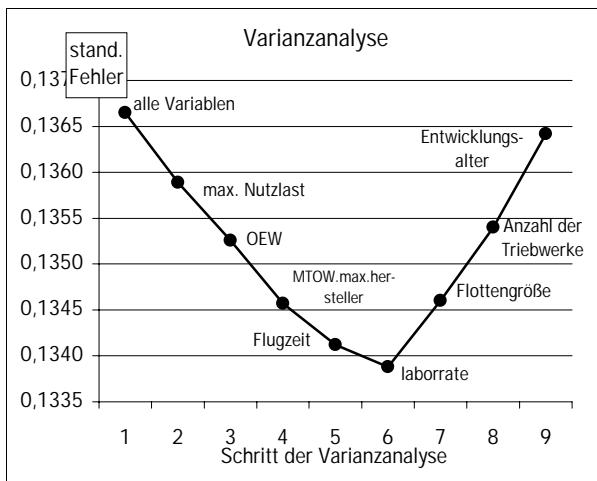


Abb. 4.7: Standardisierte Fehler bei der Varianzanalyse

Das Minimum ist deutlich beim sechsten Analyseschritt zu erkennen. Der minimale Fehler entsteht bei der Regressionsformel mit den folgenden Eingangsparametern:

- *MTOW.max.airline (MTOW.AL)*,
- *utilisation*,
- durchschnittliches Dienstalder,
- Teilflottengröße,

- Entwicklungsalter,
- Anzahl der Triebwerke.

Der Verlauf der partiellen Korrelationskoeffizienten in den einzelnen Analyseschritten ist in Abb. 4.8: Verlauf der partiellen Korrelationskoeffizienten bei der Varianzanalyse des Gesamtkostenansatzes aufgetragen.

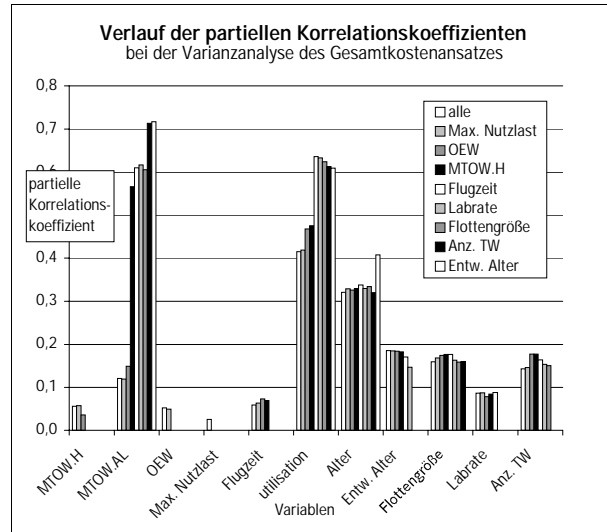


Abb. 4.8: Verlauf der partiellen Korrelationskoeffizienten bei der Varianzanalyse des Gesamtkostenansatzes

Interessant sind die Veränderungen der Koeffizienten. So ist zu erkennen, dass bei Ausschluss des *MTOWmax.manuf.* (bezeichnet mit *MTOW.H*) der partielle Korrelationskoeffizient des *MTOW.max.airline* (bezeichnet mit *MTOW.AL*) sprunghaft steigt, da die beiden Abfluggewichte bivariat sehr stark miteinander korrelieren (totaler Korrelationskoeffizient). Der gleiche Aspekt ist bei der *utilisation* nach Ausscheiden der Flugzeit und bei durchschnittlichem Flugzeugalder (Dienstalder) nach Ausscheiden des Entwicklungsalters zu beobachten. Die totalen Korrelationskoeffizienten der einzelnen Einflussparameter sind in einer Matrix im Anhang 12: *Totale Korrelationskoeffizienten des Gesamtkostenansatzes* dargestellt.

Im folgenden soll mit Hilfe der Signifikanzanalyse die „Wichtigkeit“ der einzelnen Einflussparameter des Gesamtkostenansatzes ermittelt werden.

4.2.3.3 Signifikanzanalyse des Gesamtkostenansatzes

Die Signifikanzanalyse verläuft parallel zur Varianzanalyse. Während bei der Varianzanalyse die Bestimmung der partiellen Korrelationskoeffizienten als Ausschlusskriterium für den nächsten Analyseschritt dient, können gleichzeitig bei der Signifikanzanalyse diese Koeffizienten zur Bestimmung der Signifikanz durch den Vergleich mit der Signifikanzgrenze dienen.

Bei 96 Datensätzen und der Varianzanalyse mit 10 Parametern ergeben sich bei der Durchführung der Analyse 86 bis 95 Freiheitsgrade und somit eine Student-t-Verteilung von 1,6630 bis 1,6612 bei zweiseitigem Test. Das ergibt bei 10% Irrtumswahrscheinlichkeit Signifikanzgrenzen von 0,179 bis 0,170. Der Verlauf der Signifikanzgrenze ist im *Anhang 4: Signifikanzgrenzenverlauf bei der Signifikanzanalyse* dargestellt. Für den Fall des Fehlerminimums sind die part. Korrelationskoeffizienten und die Signifikanzgrenze in *Abb. 4.9: Signifikanzniveau der Variablen im Gesamtkostenansatz* grafisch dargestellt:

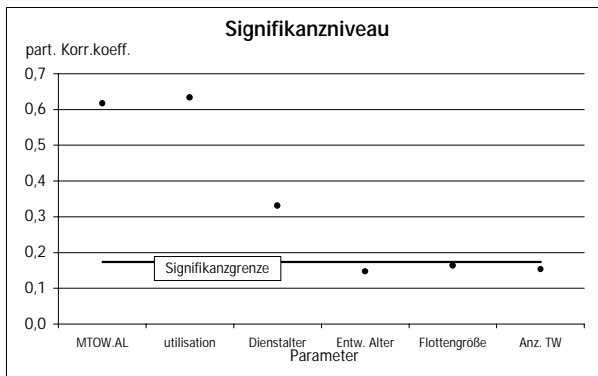


Abb. 4.9: Signifikanzniveau der Variablen im Gesamtkostenansatz

Aus diesem Diagramm ersieht man, dass für den zweiseitigen Test die Parameter Entwicklungsalter, Flottengröße und Anzahl der Triebwerke nicht signifikant sind. Sie tragen zwar zur Verbesserung des Ergebnisses bei, ihr Einfluss kann aber nicht durch einen rational belegbaren Einfluss nachgewiesen werden. Dieses Phänomen nennt man Scheinkorrelation. Erst bei Ausschluss dieser drei Parameter sind die verbleibenden *MTOWmax.airline*, *utilisation* und *Dienstal* alle signifikant. Der Ansatz mit den drei Eingangsparametern wird allerdings nicht weiterverwendet, **da die Modellgüte schlechter ist**. Der 6-parametrische Ansatz wird nun im folgenden vorgestellt.

4.2.3.4 Vorstellung des Gesamtkostenansatzes der IATA PPM Daten

Diese Formel für das Modell (im folgenden mit *IATA PPM* Regressionsmodell bezeichnet) lautet:

$$\begin{aligned}
 \text{DMC(US\$ / FH)} = & 49659 \\
 & \cdot \text{MTOW}_{\text{max. airline}}^{0,702} \\
 & \cdot \text{Utilisation}^{-1,041} \\
 & \cdot \text{Alter}^{-0,324} \\
 & \cdot \text{Alter}_{\text{Entwicklung}}^{-0,2036} \\
 & \cdot \text{Flottengröße}^{0,060} \\
 & \cdot \text{Anzahl}_{\text{Triebwerk}}^{-0,292}
 \end{aligned}$$

Gleichung 4.5

Im folgenden sind die Parameter mit ihren Einflüssen im Diagramm dargestellt. Dabei sind die Einflüsse der anderen Parameter nicht enthalten, d.h. die Kosten pro Flugstunde werden durch die restlichen Einflussfaktoren dividiert. Am Beispiel des Größenfaktors lautet die Reduktionsformel:

$$\begin{aligned}
 \text{MTOW-Faktor} = & \frac{\text{DMC(US\$ / FH)}_{\text{realkosten}}}{49659 \cdot \text{Utilisation}^{-1,041}} \\
 & \cdot \text{Alter}^{0,324} \\
 & \cdot \text{Alter}_{\text{Entwicklung}}^{-0,2036} \\
 & \cdot \text{Flottengröße}^{0,060} \\
 & \cdot \text{Anzahl}_{\text{Triebwerk}}^{-0,292}
 \end{aligned}$$

Gleichung 4.6

MTOWmax.airline-Faktor

Dieser zeigt die größten Abweichungen oberhalb der 100-Tonnen-Grenze. Es ist auffällig, wie hoch die Flugzeuganzahl unterhalb von „MTOW gleich 100 t“ ist. Man kann deutlich erkennen, dass es wesentlich mehr sind als in dem höhergewichtigen Bereich.

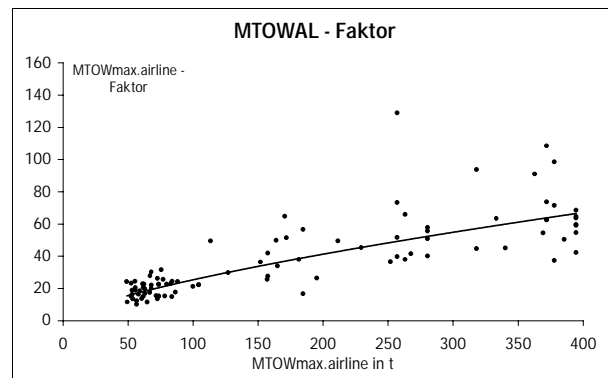


Abb. 4.10: Verlauf des *MTOWmax.airline*-Faktors

utilisation-Faktor

Der Einfluss der *utilisation* wurde von allen Parametern durch den Ansatz am besten modelliert, d.h. die Datenpunkte zeigen die geringste Streuung zur Regressionsgeraden. Wenn man den Einfluss des Flugzyklus-Faktors der Lufthansa 1994 *DMC-Methode* in *Abb. 3.7: Flugzyklusfaktor der Lufthansa 1994 DMC-Methode* und die Beziehung zwischen *utilisation* und durchschnittlicher Flugzeit berücksichtigt, beschreibt hier die *utilisation* den Flugstunden-Flugzyklus-Effekt der ISH-Kosten.

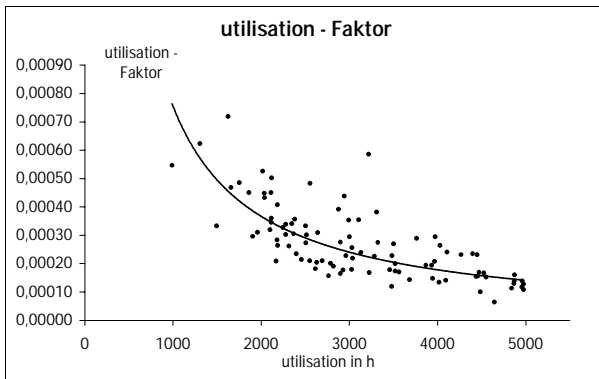


Abb. 4.11: Verlauf des *utilisation*-Faktors

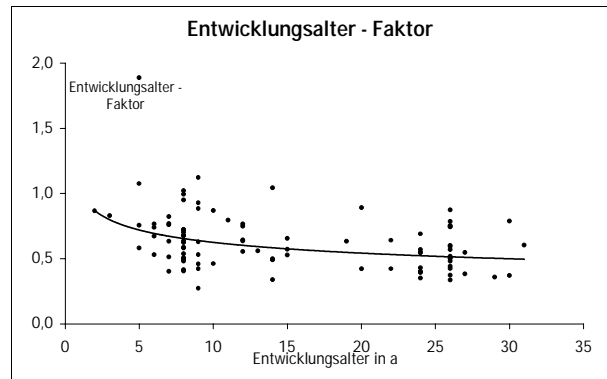


Abb. 4.13: Verlauf des Entwicklungsalter-Faktor

Dienstalter-Faktor

Die Altersfunktion entspricht mit ähnlichem Exponenten dem der Lufthansa 1994 *DMC*-Methode. Der Grund, dass in dem Zeitraum zwischen dem Alter von 8 Jahren und 14 Jahren nur wenige Flugzeuge in die Regression eingehen, liegt darin, dass die von der Regression ausgeschlossenen Flugzeugmuster (A300-600/-600R) größtenteils dieses Alter aufweisen.

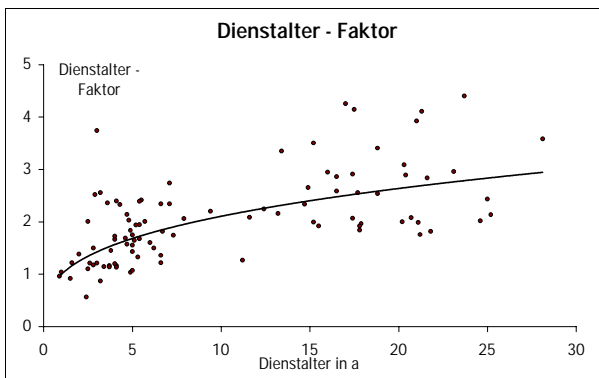


Abb. 4.12: Verlauf des Dienstalter-Faktor

Entwicklungsalter-Faktor

Dieser Einfluss war als nicht signifikant eingestuft worden. Es ist jedoch auffällig, dass die Kurvenform sehr große Ähnlichkeit mit der Entwicklungsalterskurve der Lufthansa 1994 *DMC*-Methode hat. Die hohen ISH-Kosten können sich durch Effekte wie sog. Kinderkrankheiten erklären lassen, bzw. den Neuigkeitseinfluss des Geräts auf die ISH-Betriebe. Das Argument, dass neuere FZ-Typen durch wartungsfreundlichere Systeme, wie z.B. *BITE*, ausgerüstet sind und somit ISH-Kosten reduzieren, lässt sich aus dieser Darstellung nicht nachvollziehen.

Triebwerksfaktor und Flottengrößenfaktor

Diese Faktoren sind technisch-wirtschaftlich in keiner Weise sinnvoll zu erklären. Weder, dass mit steigender Zahl der Triebwerke die ISH-Kosten sinken, noch der Aspekt, dass bei größerer Flotte die Kosten steigen.

Auch der *curve fit* dieser beiden Parameter ist sehr schlecht. So ist es auch nicht verwunderlich, dass die Parameter bei der Varianzanalyse als nächste - aufgrund der geringsten partiellen Korrelationskoeffizienten - ausgeschlossen werden.

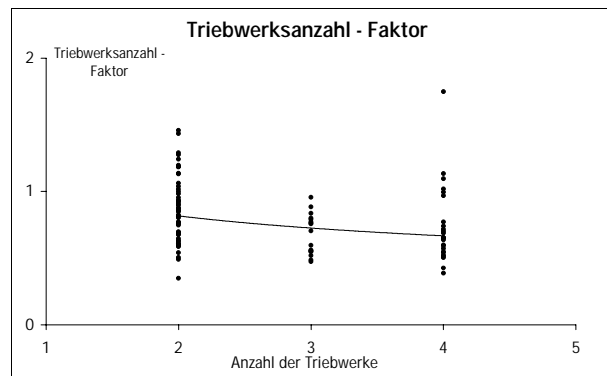


Abb. 4.14: Verlauf des Triebwerksanzahl-Faktors

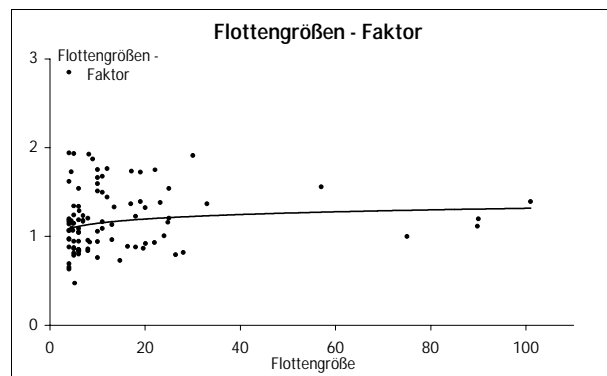


Abb. 4.15: Verlauf des Flottengrößen-Faktors

Trotz der nicht erklärbaren Verläufe der Faktoren für Anzahl der Triebwerke und Flottengröße werden diese Faktoren für die weitere Betrachtung beibehalten, da der Ansatz die geringsten Abweichungen hat.

Um dennoch aus wissenschaftlicher Sicht Lösungsvorschläge für diese „Unzulänglichkeiten“ bereitzustellen, wird hier folgende Überlegung angestellt.

Die Verläufe der beiden Kurven weisen keine großen Krümmungen auf. Es ist deshalb zulässig anstatt eines Kurvenverlaufs, Mittelwerte der Datenpunkte in den Diagrammen zu bestimmen und dadurch den Einfluss der Faktoren zu beschreiben.

Der Mittelwert für die Flottengrößenfaktoren aus *Abb. 4.15: Verlauf des Flottengrößen-Faktors* beträgt 1,2. Der rechnerische Wert für dieses Mittel entspricht ca. 21 Flugzeuge pro Flotte (20,88).

Die Mittelwerte der Triebwerksfaktoren aus *Abb. 4.14: Verlauf des Triebwerksanzahl-Faktors* sind

- 0,862 für 2 Triebwerke,
- 0,680 für 3 Triebwerke,
- 0,735 für 4 Triebwerke,
- 0,797 als Mittelwert für den Triebwerksfaktor aller Triebwerksanzahlen.

Es besteht die Möglichkeit, verschiedene Modelle für Flugzeuge mit den unterschiedlichen Anzahlen von Triebwerken zu definieren. Diese Modellen ergeben sich durch die Multiplikation der Gesamtkostenregressionsformel *Gleichung 4.5* mit den jeweiligen Mittelwerten für die Triebwerksanzahl-faktoren und den Mittelwerten der Flottengrößenfaktoren.

Dementsprechend lauten die Kostenmodellgleichungen

für 2-strahlige Flugzeuge:

$$DMC(US\$ / FH) = 51367 \cdot MTOW_{max.airline}^{0,702} \cdot Utilisation^{-1,041} \cdot Alter^{0,324} \cdot Alter_{Entwicklung}^{-0,2036}$$

Gleichung 4.7

für 3-strahlige Flugzeuge:

$$DMC(US\$ / FH) = 40521 \cdot MTOW_{max.airline}^{0,702} \cdot Utilisation^{-1,041} \cdot Alter^{0,324} \cdot Alter_{Entwicklung}^{-0,2036}$$

Gleichung 4.8

für 4-strahlige Flugzeuge:

$$DMC(US\$ / FH) = 43799 \cdot MTOW_{max.airline}^{0,702} \cdot Utilisation^{-1,041} \cdot Alter^{0,324} \cdot Alter_{Entwicklung}^{-0,2036}$$

Gleichung 4.9

für alle Flugzeuge:

$$DMC(US\$ / FH) = 47494 \cdot MTOW_{max.airline}^{0,702} \cdot Utilisation^{-1,041} \cdot Alter^{0,324} \cdot Alter_{Entwicklung}^{-0,2036}$$

Gleichung 4.10

Diese Gleichungen gelten unter der Annahme, dass die durchschnittliche Teilflottengröße bei 20 Flugzeugen liegt.

Für die weiteren Betrachtungen in *Kap. 5 Anpassung und Verifizierung des IATA PPM Modells* wird jedoch die 6-parametrische IATA PPM Regressionsformel verwendet.

4.2.3.5 Auswertung der Quelle



Abb. 4.16: Vergleich der angepassten Real- und der Modellkosten

Um einen Gesamteindruck der modellierten Kosten zu den realen Kosten zu bekommen, sind in *Abb. 4.16: Vergleich der angepassten Real- und der Modellkosten* diese beiden Größen aufgetragen. Die Winkelhalbierende steht für gleiche Modell- und Realkosten. Oberhalb der Geraden sind die Realkosten geringer als die der Modellierung, demnach ist die ISH kostengünstiger; unterhalb der Geraden verhält es sich umgekehrt. Aus dieser Abbildung ersieht man weiterhin, dass bis zu einem Betrag von █ US\$/FH Abweichungen positiv und negativ sind, wohingegen oberhalb dieses Betrages die Abweichungen nur in den „teuren“ Bereich hineinreichen.

An einigen Punkten soll nachfolgend erklärt werden, wie es zu den hohen Abweichungen kommt.

Zuerst wird die [redacted] diskutiert. Die dazugehörigen Daten sind:

- Flottengröße 4,
- Alter 3 Jahre,
- Flugzeit 5,39 h,
- utilisation [redacted] h,
- Flüge pro Tag [redacted],
- laborrate [redacted] USS/MH,
- subcontracted [redacted] USS/FH.

[redacted]

Weiterhin werden nun die anderen „teuren“ Flugzeuge oberhalb der [redacted]-USS/FH-Grenze diskutiert.



Abb. 4.17: ISH-Kostenvergleich [redacted]

Mit dem oben erklärten Realkosten-Modellkosten-Vergleich können auch einzelne Flugzeugmuster und deren ISH-Kosten bewertet werden; dieses wird dann als *benchmarking* bezeichnet.

[redacted]

[redacted]

[redacted]

Diese Informationen helfen Fluggesellschaften, sich mit ihren Konkurrenten zu vergleichen. Man kann somit erkennen, wie kostengünstig andere Flugzeugbetreiber die ISH durchführen und kann unter Umständen Maßnahmen zur Kostenreduzierung einleiten.



Abb. 4.18: ISH-Kostenvergleich von europ. Fluggesellschaften

5 Anpassung und Verifizierung des IATA PPM Modells

5.1 Allgemeines

Dieses Kapitel behandelt die Verifizierung der zuvor entwickelten Regressionsformel. Es soll hier festgestellt werden, wie die Kostenergebnisse der Regressionsformel sich im Vergleich zu den realen ISH-Kosten internationaler Fluggesellschaften verhalten, zu denen auch die der Lufthansa gehören. Der Vergleich mit den Lufthansa ISH-Kosten wird als Sonderfall mit ausführlicher Diskussion behandelt.

Weiterhin wird neben der Betrachtung der realen ISH-Kosten auch ein Modellvergleich zwischen der Lufthansa 1994 DMC-Methode (die auf den Lufthansa-Daten von 1989 beruht) und dem neuen Kostenniveau des IATA PPM Modells mit den Daten aus 1996 durchgeführt und ein Vorschlag zur Anpassung der 1994er Lufthansa-Methode gemacht. Die Anpassung der Lufthansa 1994 DMC-Methode wird deshalb durchgeführt, weil so die bisherige DOC-Methode bis auf einige kleine Änderungen weiterverwendet werden könnte.

Es werden folgende Schritte durchgeführt:

- Der Modellumfang soll um den Anteil für *line maintenance* und Technische Neuerungen durch Anpassung der Regressionsformel mit dem Dechow-Modell erweitert werden.
- Das den zusätzlichen Anteil beinhaltende Modell soll mit den realen ISH-Kosten internationaler Fluggesellschaften verglichen werden und auf deren Kostenniveau angepasst werden.
- Das Lufthansa 1994 DMC-Modell soll an die Kostenverhältnisse des vollständigen IATA PPM Modells von 1996 angepasst werden. Dabei soll umgekehrt auch das IATA PPM Modell durch Vergleich der Einflusstrends der Eingangsparameter verifiziert werden.
- Die beiden Modelle IATA PPM 1996 und angepasstes Lufthansa 1994 DMC-Modell sollen mit den ISH-Kosten der Lufthansa AG (DLH) verglichen werden. Dazu wird der zwischen der DLH und der Lufthansa Technik (LHT) abgeschlossene Instandhaltungsgeneralvertrag (IGV) verwendet.

Die Auswertung ist in *Abb. 5.1: Veranschaulichung der Auswertung der Ergebnisse* grafisch dargestellt.

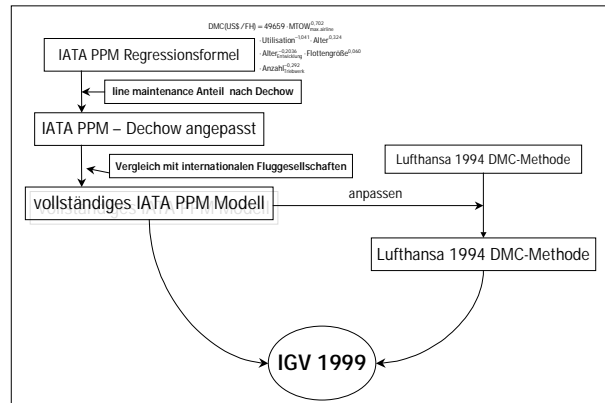


Abb. 5.1: Veranschaulichung der Auswertung der Ergebnisse

5.2 Vergleichbarmachung der 1996er IATA PPM Regressionsformel

Um die in *Kap. 4.2.3.4 Vorstellung des Gesamtkostenansatzes der IATA PPM Daten* hergeleitete Regressionsformel auf das Kostenniveau zu bringen, mit dem man die gesamten ISH-Kosten vergleichbar machen kann, muss sie um ihre nicht enthaltenen Aufwendungen für die *line maintenance* und Technische Neuerungen angepasst werden, weil so der Vergleich mit der Lufthansa 1994 DMC-Methode bzw. dem IGV 1999 erst möglich wird.

Diese Erweiterung geschieht mit Hilfe der Dechow-Methode (*siehe Kap. 3.3.4.5 DMC-Methode nach Dechow*), in der alle ISH-Ereignisse mit ihren Kosten einzeln in Abhängigkeit von Hauptentwurfs-, Betriebs- und Finanzparameter ermittelbar sind. Die tabellarische Darstellung der einzelnen Anteile ist dem *Anhang 14: Daten für die Modellverifizierung Dechow-Quotient* zu entnehmen.

Der Umfang dieser Anteile ist davon abhängig, ob es sich um einen Kurz- oder Langstreckenflug handelt. So wird bei Kurzstreckenflügen der DLH der vor jedem Flug durchzuführende *trip check* vom Cockpitpersonal ausgeführt, wohingegen bei Langstreckeneinsätzen ein Mechaniker eingesetzt wird.

Es wird davon ausgegangen, dass dieser Sachverhalt bei anderen Fluggesellschaften genauso ist. Aus diesem Grund wird im ISH-Vertrag zwischen Fluggesellschaft und ISH-Betrieb kein *trip check* bei Kurzstreckenflügen geltend gemacht.

Da weiter unten ein Vergleich mit dem IGV von 1999 durchgeführt wird, werden hier beispielhaft die Zuschläge auf die Modellkosten angegeben, die - in *Tab. 5.1: line maintenance Anteil Kurzstrecke* und *Tab. 5.2: line maintenance Anteil Langstrecke* dargestellt - als prozentualer Zuschlag auf die Kosten der IATA PPM Regressionsformel aufgeschlagen werden.

Kurzstreckenflüge⁴¹:

B737-300	B737-500	A319-100	A320-200	A321-100	A310-300	A300-600SR
35%	34%	36%	37%	41%	46%	47%

Tab. 5.1: *line maintenance* Anteil KurzstreckeMittel- und Langstreckenflüge⁴²:

A300-600LR1	A300-600LR2	A340-200	A340-300	B747-200	B747-400E	B747-400D
38%	41%	31%	32%	32%	31%	31%

Tab. 5.2: *line maintenance* Anteil Langstrecke

Die Grundlagen, nach denen die Berechnungen durchgeführt worden sind, werden nun erläutert.

Da es sich bei den Vergleichsflugzeugen um Lufthansaflugzeuge handelt, wurden

- die **Gewichte** (*MTOW*, *OEW*) der Lufthansa 1994 *DMC*-Methode,
- die **Beschäftigungszahlen** (*utilisation*, Anzahl der Flüge pro Jahr) dem IGV 1999 Anhang,
- die **Durchschnittsalter** der Teilflotten der *internet*-Seite der DLH
- die **Indienststellungsjahre** der Lufthansa 1994 und der Dechow-Methode,
- die **Flugzeugpreise** der Dechow-Methode

entnommen. Die Flugzeugpreise, die nicht in der Dechow-Methode angegeben waren, da die Flugzeuge 1990 noch nicht Teil der DLH-Flotte waren, wurden geschätzt.

Die 2000er Listenpreise der neuesten Boeing-Modelle wurden der *internet*-Seite von Boeing entnommen und im *Anhang 5: 2000er Listenpreise Boeing* aufgelistet. Die Ermittlung der Preise für Airbus- und ältere Boeingflugzeuge ist nicht gelungen. So mussten die Preise von B737-500, A319, A320, A321, A340-200, A340-300 nach Vergleich mit äquivalenten neuen Boeing-Modellen geschätzt werden. Diese sind dann inflatorisch (**Materialinflation** 3,5%)⁴³ bereinigt worden. Das war die einzige Möglichkeit, das Potential der Dechow-Methode nutzbar zu machen. Bei dieser Schätzung sind Fehler entstanden. Der Einfluss dieser Fehler ist geprüft worden und war gering. Die Fehler sind somit tolerierbar.

Die **Neuheitsgrade** für die Flugzeuge sind der Dechow-Methode entnommen bzw. nach Vergleich geschätzt worden.

Die **Stundensätze** der Dechow-Methode sind von DM 58,00 (1990) mit 3,5% **Lohnsteigerung** auf das Niveau von 1999 hochgerechnet worden.

5.3 Vergleich und Anpassung des Modells an die Instandhaltungskosten internationaler Fluggesellschaften

Die Aufgabenstellung der Studienarbeit beinhaltet, dass die ISH-Aufwendungen von Fluggesellschaften aus deren Geschäftsberichten bzw. aus den jährlichen Erhebungen der US-amerikanischen Verkehrsbehörde (*DOT*) ermittelt werden sollen. Dies ist nicht gelungen, da kein Geschäftsbericht verwertbare Informationen zu solchen Kostengrößen enthält. Auch die Informationen der *DOT*, die im Bericht der *form 41* veröffentlicht werden, konnten nicht erworben werden, weil diese Daten von der Behörde nur nach einem speziellen Genehmigungsverfahren an einen vertrauten Personenkreis weitergegeben werden.

Im deutlichen Gegensatz dazu können - nur aus finanziellen Gründen nachvollziehbar - diese Informationen als bereits aufgearbeitete Datenbanken zu Preisen von mehreren tausend US\$ am Markt erworben werden. Diese Mittel standen der TU Berlin im Rahmen dieser Studienarbeit nicht zur Verfügung.

Hierbei wurde durch die Verwendung der *IATA PPM* Daten Abhilfe geschaffen. Wie bereits in *Kap. 4.1.3 Umfang und Abdeckung der Kostenanteile der IATA PPM* diskutiert worden ist, enthält diese Datenbank flugstundenbezogene Kosten aufgeteilt nach Teilflotten der Fluggesellschaften. Durch Multiplikation aller Zellen-, System- und *subcontracted*-ISH-Kosten mit den Flugstunden konnten die Gesamtkosten der Teilflotten ermittelt werden. Durch Summieren aller Teilflottenkosten ergibt sich eine Zahl für die Wartung und Überholung der Flugzeuge der gesamten Fluggesellschaft.

Der Leistungsumfang, der diese Kosten verursacht, entspricht dem Umfang des Regressionsmodells vor der Erweiterung mit dem *line maintenance* Anteil nach Dechow; d.h. es werden in diesem Vergleich nur *light* und *heavy maintenance* Kosten miteinander verglichen. Die in *Kap 5.2 Vergleichbarmachung der 1996er IATA PPM Regressionsformel* diskutierten Anteile bleiben unberücksichtigt, weil sie sowohl auf die Modellkosten als auch auf die Ist-Kosten aufgeschlagen werden müssten.

⁴¹ Die in den Tabellen angegebenen Bezeichnungen *SR* und *LR* geben den Kurz- und Langstreckeneinsatz des gleichen Flugzeugtyps an.

⁴² Die Bezeichnungen *LR1* und *LR2* beziehen sich auf unterschiedlich alte Flotten von A300-600.

⁴³ Reetz, cand. Ing. Torsten: Begleitendes Material zum Vortrag *Aircraft Financing* Eigenverlag, Berlin 2000 S.5

Wenn man einen Vergleich zwischen dem Modell, das auf den Daten der *IATA PPM* beruht, und den Daten selber durchführt, stellt sich die Frage, ob man nicht gleiches mit gleichem vergleicht. Dazu sei hier folgende Erklärung gegeben.

Die Istkosten der *IATA PPM* Daten sind im Zusammenhang mit den Stundensätzen der einzelnen Fluggesellschaften zu sehen. Diese betragen - wie bereits in *Kap. 4.1.6 Parameterauswahl* recherchiert - zwischen ■■■ und ■■■■ US\$/MH. Für die Regression wurde ein nach den Flugstunden gewichteter mittlerer Stundensatz aller Teilflotten von US\$ ■■■■ verwendet. Weiterhin werden bei diesem Vergleich auch diejenigen Teilflotten miteinbezogen, die bei der Regression nicht verwendet werden konnten. Gründe für den Ausschluss waren:

- Teilflottengröße unter 3 Flugzeugen,
- unklare Zuordnung von verschiedenen Flugzeugmustern in einer Teilflotte (durchmischte Flotten),
- Erstbetriebsjahr (*first year*),
- keine Angabe der *laborrate*.

Alle diese Datensätze werden beim folgenden Vergleich verwendet, weil der gesamte Markt berücksichtigt werden soll. In *Abb. 5.2: Gegenüberstellung von Ist- und Modellkosten der ISH* sind die Istkosten über die Modellkosten aller *IATA PPM* Fluggesellschaften aufgetragen.



Abb. 5.2: Gegenüberstellung von Ist- und Modellkosten der ISH

Man kann anhand der linearen Ausgleichsgeraden sehr gut erkennen, dass die beiden Größen miteinander sehr stark korrelieren. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,983. Im Diagramm ist die Regressionsgrade mit der Steigung 1,0632 angegeben. Das Bestimmtheitsmaß R^2 im Diagramm entspricht dem Korrelationskoeffizienten. Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden kann geschlossen werden, dass die Istkosten der verwendeten internationalen Fluggesellschaften im Durchschnitt 6,32% größer sind als die modellierten Kosten. Um die Kosten des internationalen Markts besser modellieren zu können, wird der Modellansatz deshalb um den Faktor 1,0632 erweitert und lautet somit:

$$\text{DMC(US\$ / FH)} = 52798$$

- $\text{MTOW}_{\text{max. airline}}^{0,702}$
- $\text{Utilisation}^{-1,041}$
- $\text{Alter}^{0,324}$
- $\text{Alter}_{\text{Entwicklung}}^{-0,2036}$
- $\text{Flottengröße}^{0,060}$
- $\text{Anzahl}_{\text{Triebwerk}}^{-0,292}$

Gleichung 5.1

Anhand der Position der Ausgleichsgeraden kann man erkennen, welche der abgebildeten Fluggesellschaften ihre ISH teurer oder billiger durchführen. Diese Abbildung entspricht der in *Kap 4.2.3.5 Auswertung der Quelle* aufgezeigten Diagramme. Hier werden allerdings die Istkosten der Fluggesellschaften betrachtet und nicht die mit der durchschnittlichen *laborrate* angepassten flugstundenbezogenen Kosten der Teilflotten.

Eine Liste mit den *IATA-codes* der Fluggesellschaften kann man dem *Anhang 2: Fluggesellschaften der Regression* entnehmen.

Bei der Erstellung der Ausgleichsgeraden wurde bewusst eine Gerade gewählt, die einen Nulldurchgang erzeugt, da nur das technisch und wirtschaftlich erklärbar ist. Es hätte nämlich eine geringfügig bessere Korrelation durch eine Gerade erzeugt werden können, die nicht den Achsenursprung durchläuft.

Als abschließende Betrachtung in diesem Kapitel wird hier eine Möglichkeit aufgezeigt, die ISH-Kosten für Zelle und Systeme von den Gesamtkosten, die auch die Triebwerk-ISH-Kosten beinhalten, zu ermitteln. Diese Überlegung ist insofern bedeutsam, da die Triebwerks-ISH-Kosten-differenzierung Teil der ursprünglichen Aufgabenstellung gewesen wäre. So war beabsichtigt - wie oben diskutiert - die ISH-Kosten einer Fluggesellschaft aus deren jährlichen Geschäftsberichten zu ermitteln. Auch dort wären folgerichtig nur die gesamten Kosten angegeben gewesen.

Eine Methode, den Anteil der Zellen- und Systemkosten aus den gesamten Kosten zu bestimmen, wäre die Berechnung der einzelnen Anteile nach den *DMC*-Modellen, die in den obigen Kapiteln diskutiert worden sind. Eine weitere Möglichkeit ist die Analyse der *IATA PPM* Daten, die auch die Kostenzahlen für die Triebwerksüberholung beinhalten. Trägt man nun die Triebwerksüberholungskosten über die Gesamtkosten - bestehend aus

- den Arbeits-, Material- und *subcontracted*-Kosten der *light* und *heavy maintenance* der *IATA PPM* Daten,
- einem durchschnittlichen *line maintenance* Zuschlag nach Dechow von 39%,
- den Triebwerksüberholungsaufwendungen

- auf, erhält man die Zahlen, die in *Abb. 5.3: Anteil der Triebwerkskosten an den Gesamtkosten* dargestellt sind.

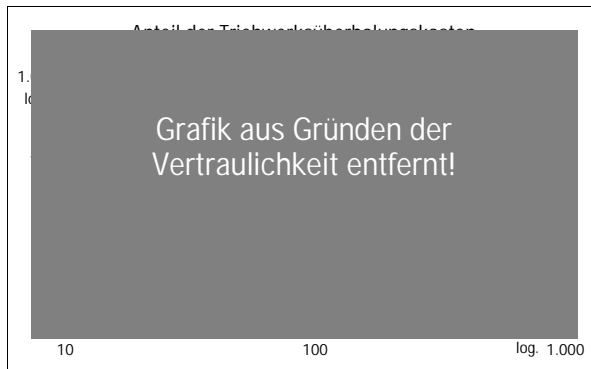


Abb. 5.3: Anteil der Triebwerkskosten an den Gesamtkosten

Daraus geht hervor, dass unter den getroffenen Annahmen rd. $\blacksquare\%$ der Gesamt-ISH-Kosten einer Fluggesellschaft aus der Triebwerksüberholung stammen. Diese beiden Größen korrelieren nach der im Diagramm angegebenen Regressionsformal sehr stark. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,988.

Nachdem die internationalen Fluggesellschaften anhand des entwickelten Ansatzes verglichen worden sind, wird der Vergleich zu den IGV-Daten diskutiert. Um neben dem Vergleich mit dem *IATA PPM* Ansatz noch ein zweites Modell als Maßstab zu verwenden, wird folgend die Lufthansa 1994 *DMC*-Methode betrachtet und an das 1996er Kostenniveau des *IATA PPM* angepasst.

5.4 Vergleich des *IATA PPM* Modells mit der Lufthansa *DMC*-Methode 1994

5.4.1 Allgemeines

Die Lufthansa 1994 *DMC*-Methode ist seit ihrer Veröffentlichung nur unwesentlich verändert worden. Sie ist Bestandteil der *DOC*-Methode. Aufgrund ihrer Komplexität, d.h. Berücksichtigung vieler Einflussparameter und ihrer Bewährtheit, erscheint es sinnvoll, den Verlauf der Einflussparameter des *IATA PPM* Modells damit zu vergleichen.

5.4.2 Verifizierung des *IATA PPM* Modells durch die Lufthansa 1994 Methode

In diesem Kapitel werden die gemeinsamen Einflusstrends der beiden Modelle miteinander verglichen. Dadurch sollen die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Modelle aufgezeigt werden. Bei den zu vergleichenden Einflüssen handelt es sich um die in *Kap 3.3.4.4 Lufthansa 1994 DMC-Methode* beschriebenen Faktoren für:

- **Flugzeuggröße,**
- **Dienstalter,**
- **Entwicklungsalter**
- **und Flugzyklus-Flugstundenverhältnis.**

Die Faktoren für Triebwerksanzahl und Flottengröße und deren Verwertbarkeit wurden bereits in *Kap. 4.2.3.4 Vorstellung des Gesamtkostenansatzes der IATA PPM Daten* diskutiert. Die Einflussfaktoren in den folgenden Diagrammen sind alle einheitenlos, weil es sich um Potenzfunktionen handelt.

Der **Größeneinfluss** wird in beiden Modellen durch eine Potenzfunktion mit dem *MTOW* beschrieben. Die Exponenten sind für das *IATA PPM* Modell 0,702, für die Lufthansa 1994 Methode 0,564 (Arbeitskosten) und 0,643 (Materialkosten).

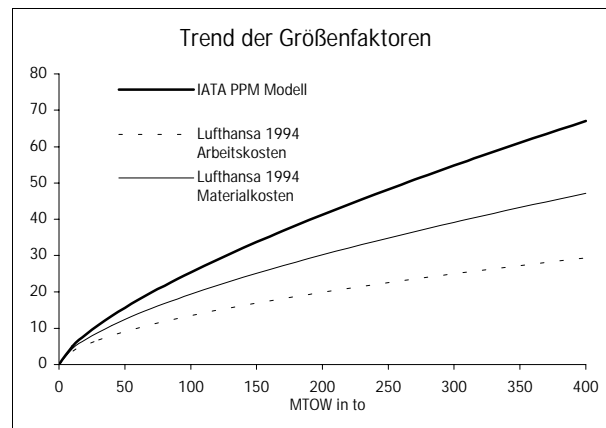


Abb. 5.4: Trend der Größeneinflussfaktoren

Wie bereits aus den Potenzen der Faktoren zu entnehmen war, hat der Größeneinfluss - in beiden Modellen durch das *MTOW* beschrieben - im *IATA PPM* Modell den stärksten Einfluss. Das bedeutet, dass größere Flugzeuge teurer modelliert werden.

Der **Dienstaltereinfluss** wird - wie der Größeneinfluss - durch eine Potenzfunktion beschrieben. Die Exponenten sind für das *IATA PPM* Modell 0,324, für die Lufthansa 1994 Methode 0,115 (Arbeitskosten) und 0,212 (Materialkosten).

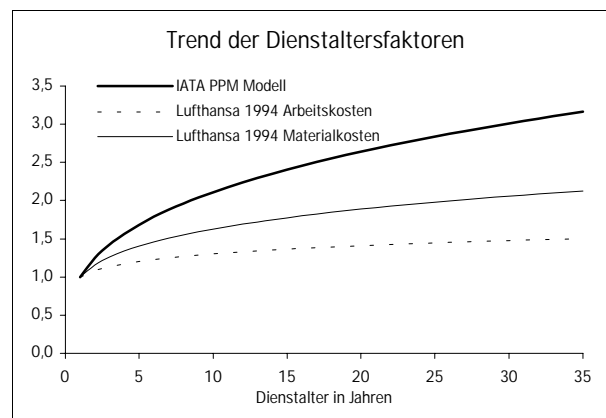


Abb. 5.5: Trend der Dienstalterfaktoren

Wie beim Größeneinfluss ist der Dienstalterseinfluss beim *IATA PPM* Modell am deutlichsten ausgeprägt. Die älteren Flugzeuge werden dadurch teurer modelliert.

Der **Entwicklungsalterseinfluss** wird durch die Modelle unterschiedlich wiedergegeben. Während das *IATA PPM* Modell sich einer Potenzfunktion bedient, wird der Einfluss in der Lufthansa 1994 *DMC*-Methode durch die in *Tab. 2.7 Einflussfaktoren der Lufthansa 1994 Methode* aufgelisteten Faktoren dargestellt.

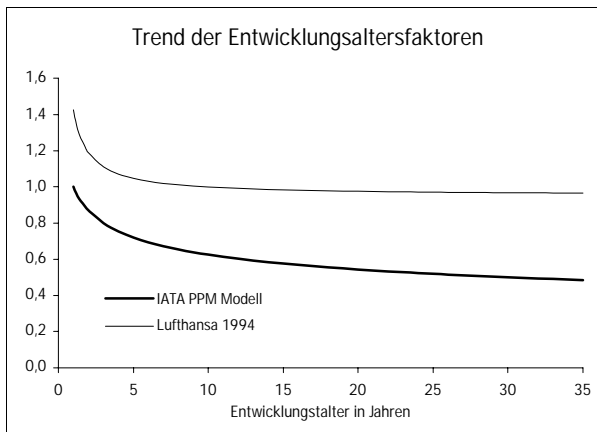


Abb. 5.6: Trend der Entwicklungsaltersfaktoren

Die unterschiedliche Modellierung ist offensichtlich. Der Einfluss der Lufthansa 1994 Methode geht bei größer werdendem Entwicklungsalter gegen eins. Dies ist ein zu erwartender Verlauf, denn ISH-Kosten können nicht gegen Null gehen, sondern ein Modell muss einen Reifewert modellieren. Das ist im *IATA PPM* Modell nicht der Fall, da dieses durch die Verwendung einer Potenzfunktion nicht möglich ist. Um jedoch diesem fragwürdigen Verlauf der Kurve nicht zuviel Gewicht am Gesamtmodell zu geben, sollte das Modell eine Obergrenze für das Entwicklungsalter haben. Der in der Regression verwendete Maximalwert dieser Größe betrug 30 Jahre. Betrachtet man den Verlauf der Kurve oberhalb dieses Alters, stellt man fest, dass er schon sehr abgeflacht ist und somit auch bis zu 35 Jahren verwendet werden kann. Dies ist eine vernünftige Obergrenze für heute im Einsatz befindliche Flugzeuge.

Das **Flugstunden-Flugzyklusverhältnis** wird im *IATA PPM* Modell durch eine Potenzfunktion mit dem Exponenten $-1,041$ beschrieben. Bei der Lufthansa 1994 Methode ist dieser Faktor die invertierte Flugzeit. Um beide Kurvenverläufe trotz ihrer verschiedenen Eingangsparameter für diesen Einfluss beschreiben zu können, muss eine Beziehung zwischen der durchschnittlichen Flugzeit und der jährlichen *utilisation* gefunden werden. So ist in der Erläuterung zur Lufthansa 1994 *DMC*-Methode ein Zusammenhang zwischen Flugzeit und Flügen pro Jahr angegeben.

$$\text{Flüge.pro.Tag} = \frac{6011}{T_i + 1,83}$$

Gleichung 5.2

Multipliziert man diese Größen, so erhält man die *utilisation*. Um einen Überblick über einen durchschnittlichen Verlauf einer solchen Kurve zu geben, wird auf *Abb. 5.7: utilisation über der Flugzeit* verwiesen.

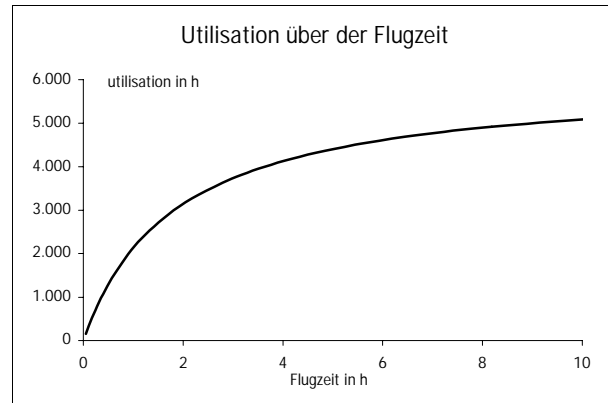


Abb. 5.7: utilisation über der Flugzeit

Auf diesem Zusammenhang aufbauend sind die Einflüsse der Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisse in *Abb. 5.8: Trend des Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisses* grafisch dargestellt.

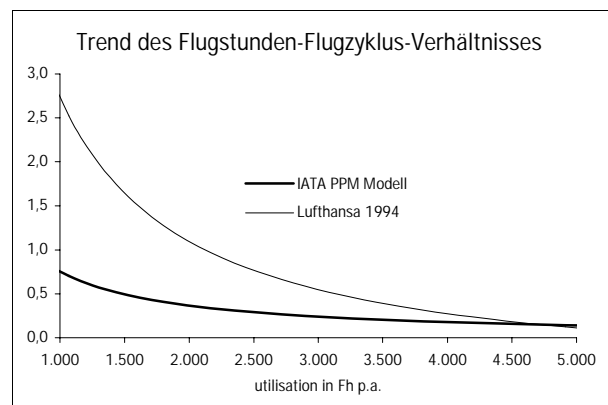


Abb. 5.8: Trend des Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisses

Der Unterschied der Modellierung ist deutlich im Diagramm zu erkennen. Die beiden Faktoren sind in der für den kommerziell relevanten Bereich von 2000 bis 5000 h *utilisation* aufgetragen. Bei ca. 4700 Stunden entsprechen die beiden Einflüsse einander. Davor modelliert das *IATA PPM* Modell die Kosten deutlich geringer. Dies ist auf die Eigenarten der Potenzfunktion zurückzuführen, die eine solche Modellierung erschweren.

Nachdem die Einflusstrends der beiden Methoden diskutiert wurden, ist es sinnvoll, die beiden Methoden auch auf ihr Kostenniveau hin zu vergleichen und die Lufthansa 1994 Methode auf das internationale Kostenniveau von 1996 anzupassen.

5.4.3 Anpassung der Lufthansa 1994 Methode

5.4.3.1 Allgemeines

Das Lufthansa 1994 *DMC*-Modell ist Teil der *DOC*-Methode mit dessen Hilfe zur Zeit die finanzielle Bewertung von Verkehrsflugzeugen durchgeführt wird. Die Berechnung findet mit Hilfe des *Microsoft-Excel*-Computerprogramms statt, in dem das *DMC*-Modell mit sehr vielen Verknüpfungen eingebettet ist. In diesem Kapitel soll das Lufthansa Modell so einfach wie möglich aber auch hinreichend plausibel an das Kostenniveau *des IATA PPM* Modells angepasst werden. So wird erreicht, dass der Änderungsprogrammierungsaufwand auf ein Minimum reduziert werden kann.

Um die beiden Modelle in ihrem Kostenniveau anzupassen, wird ein Faktor verwendet, mit dem die Lufthansa 1994 *DMC*-Methode gewichtet wird. Da das Basisjahr für die Datenerhebung 1989 war, kann davon ausgegangen werden, dass sich das Kostenniveau seitdem verschoben hat.

Es ist zu untersuchen, welcher Faktor dies sein soll. Hierbei gibt es mehrere Möglichkeiten. Wenig sinnvoll erscheint die Anpassung der Exponenten in den Größen- bzw. Altersfaktoren, denn dies beschreibt nur den Einfluss auf den ISH-Kostenverlauf bei Veränderung dieser Parameter. Viel sinnvoller erscheint die Anpassung der Stundensätze (*laborrate*). So beinhaltet dieser Wert neben den eigentlich gezahlten Löhnen auch ein Maß für die Bewertung des Kostenniveaus eines ISH-Betriebs.

Da die beiden Datenquellen aus unterschiedlichen Jahrgängen stammen, müssen sie auf ein Vergleichsjahr angepasst werden. Das Vergleichsjahr ist 1999, da es das Jahr ist, für das die Modelle der Lufthansa 1994 und der *IATA PPM* mit dem IGV 1999 verglichen werden.

5.4.3.2 Inflationische Einflüsse

Zur Anpassung müssen inflationäre Effekte (Preissteigerung) berücksichtigt werden. Weiterhin ist der wirtschaftliche Hintergrund der beiden Modelle zu berücksichtigen.

Die Eskalationsraten für Material können als Teil des Weltmarkthandels international als identisch angesehen werden. Ein Beweis dafür sind die gleichartigen Preissteigerungen auf dem deutschen (Lufthansa 1994⁴⁴ mit 4,0%, Lufthansa 1999⁴⁵ mit 3,5%) und dem internationalen Markt (■%, siehe Fußnote 43).

Die Eskalation der Stundensätze ist international nicht homogen. Die Gründe dafür sind u.a.:

- der unterschiedliche wirtschaftliche Entwicklungsstand der Staaten, in denen die Fluggesellschaften ansässig sind,
- Dollarkursschwankungen, da die Vergleichsbasis in der Luftfahrt immer der US\$ ist.

Während die Lufthansa 1994 bzw. 1999 *DMC*-Methode eine Eskalation für Arbeitslöhne von 3,0%-3,5% p.a. als Grundlage nimmt, muss diejenige der internationalen Fluggesellschaften in den *IATA PPM* Daten noch ermittelt werden.

Eine Auswertung der *IATA PPM* Daten aus den Jahren 1993 bis 1996 ergibt nach *Gleichung 4.4* gewichtete durchschnittliche Stundensätze⁴⁶, die in *Abb. 5.9: Verlauf der Stundensätze des IATA PPM* - mit einer exponentiellen Ausgleichsgeraden versehen - dargestellt sind.



Abb. 5.9: Verlauf der Stundensätze des *IATA PPM*

Der Anstieg der Ausgleichsgeraden entspricht einer jährlichen Eskalation von rd. ■% in den Jahren 1993 bis 1996. Dieser Wert wird für die Anpassung an das Jahr 1999 verwendet.

Das Gesamtkostenmodell der *IATA PPM* Daten liefert nur Gesamtkosten für ISH, die nicht nach Arbeits- und Materialanteilen differenziert werden können. Da Material- und Lohnkosteneskalation unterschiedlich sind, haben sie einen jeweils anderen Einfluss auf die Gesamtsteigerung der Kosten.

Im Jahr 1996 betrug der Anteil der Arbeitskosten nach der *IATA PPM* durchschnittlich ■% an den Gesamtkosten. Der restliche Teil war den Materialkosten zuzurechnen. Eskaliert man diese Werte mit den oben genannten Steigerungen, ergibt sich folgender Verlauf der Gesamtkosten.

⁴⁴ Deutsche Lufthansa AG (HAM IP/P), *Aircraft Maintenance Costs* 1994, Hamburg 1994

⁴⁵ Thorbeck, Prof. Dr. Ing. Jürgen: *Microsoft-Excel spread sheet* zur *DOC*-Methode der Lufthansa 1999: **a3x1npgp.xls**

⁴⁶ Der Stundensatz für 1996 US\$ ■ unterscheidet sich zu dem in der Regressionsanalyse (US\$ ■), weil in der Regressionsanalyse nicht alle Datensätze berücksichtigt wurden.



Abb. 5.10: Preissteigerung der IATA PPM Kosten

Die Gesamtinflation liegt zwischen 1996 und 1999 bei rd. █% p.a.; sie ist durch die verschiedenen Eskalationswerte für Arbeit und Material allerdings nicht konstant, sondern steigt von █% bis █% p.a. Dieser Effekt ist durch den größer werdenden Anteil der Arbeitskosten zu erklären und ist in Abb. 5.11: Veränderung der Kostenanteile durch den Eskalationseinfluss dargestellt.



Abb. 5.11: Veränderung der Kostenanteile durch den Eskalationseinfluss

Der Vergleich der Kostenanteile mit der Lufthansa 1994 DMC-Methode (Arbeitskosten 66,4%, Materialkosten 33,6%) zeigt, dass - national wie international über die IGV Flotte 1999 gemittelt - eine nahezu gleiche Kostenaufteilung nachgewiesen werden kann.

Die für die Anpassung verwendeten Eskalationen sind in Tab. 5.3: Eskalationsraten aufgelistet.

Lohnkosten Lufthansa 1994 DMC-Methode	Materialkosten Lufthansa 1994 DMC-Methode	Lohnkosten IATA PPM Methode	Materialkosten IATA PPM Methode
3,0% p.a.	3,5% p.a.	█% p.a.	█% p.a.

Tab. 5.3: Eskalationsraten

Mit den oben angegebenen Werten werden die beiden Modelle auf das Kostenniveau von 1999 hochgerechnet. Die Umrechnung der Währungen wird 1996 mit 1,55 DM/US\$ und 1999 mit 1,85 DM/US\$ angesetzt.

5.4.3.3 Anpassung des Stundensatzes

Die auf das Kostenniveau von 1999 hochskalierten Modelle sind in Abb. 5.12: Vergleich des IATA PPM und des dynamischen Lufthansa DMC-Modells dargestellt.

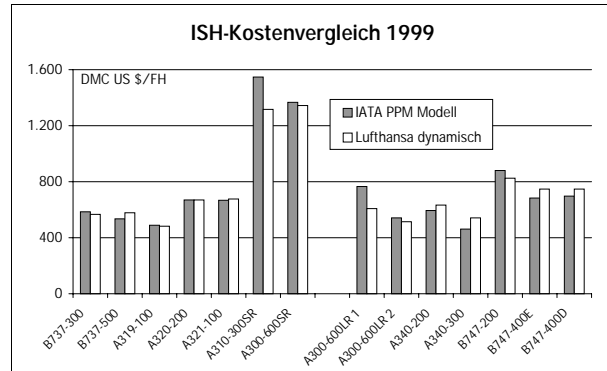


Abb. 5.12: Vergleich des IATA PPM und des dynamischen Lufthansa DMC-Modells

Die Abweichungen zwischen den beiden Modellkosten sind hier tabellarisch aufgelistet:

Kurzstreckenflüge

B737-300	B737-500	A319-100	A320-200	A321-100	A310-300SR	A300-600SR
3,24%	8,02%	1,07%	0,00%	1,58%	14,94%	1,70%

Mittel- und Langstreckenflüge

A300-600LR1	A300-600LR2	A340-200	A340-300	B747-200	B747-400E	B747-400D
20,44%	5,17%	6,74%	17,28%	6,35%	9,40%	7,47%

Tab. 5.4: Abweichungen zwischen dem IATA PPM und dem dynamischen Lufthansa DMC-Modell

Im Mittel entspricht dies einer Abweichung von durchschnittlich **7,39%**. Dies ist im Rahmen der Genauigkeit der IATA PPM Daten ausreichend.

Dabei ist der Stundensatz der Lufthansa 1994 DMC-Methode aus den bereits oben genannten Gründen von DM █ auf DM █ angepasst worden.

Der angepasste Stundensatz der Lufthansa DMC-Methode aus dem Jahr 1994 von DM █ entspricht 1999 einem Wert von DM █ bzw. US\$ █. Vergleicht man diese Zahl mit dem durchschnittlichen Stundensatz der IATA PPM Daten aus Abb. 5.10: Preissteigerung der IATA PPM Kosten von US\$ █ und eskaliert diesen mit █% p.a. auf das Niveau von 1999, erhält man einen Stundensatz von US\$ █. Der Stundensatz der dynamischen Lufthansa-Methode liegt um █% höher als der internationale Durchschnitt. Unter Beachtung dessen, dass die Arbeitskosten der ISH das Produkt aus Mannstunden und Stundensatz sind, kann man sagen, dass zwar der Stundensatz um knapp █% höher ist, allerdings liegen die dafür erforderlichen Mannstunden für ISH um █% niedriger als der internationale Marktdurchschnitt.

Das ist ein Indiz für eine effizientere Koordinierung und Durchführung der Wartung und Überholung durch den Vorgänger der Lufthansa Technik.

Der direkte Vergleich der beiden Stundensätze und die daraus abgeleitete Aussage über den ISH-Betrieb der Lufthansa ist nur dann zulässig, wenn sich Arbeits- und Materialanteil der *IATA PPM* Daten - wie oben beschrieben - darstellen und verhalten.

Die stark unterschiedliche Kostenmodellierung zwischen dem A300-600LR1 und -600LR2 im *IATA PPM* Modell ist auf die unterschiedlichen Teilflottengrößen (LR1: 5, LR2: 2) und das unterschiedliche Dienstalder (LR1: 11,7 Jahre LR2: 3,7 Jahre) zurückzuführen. Der Alterseinfluss des *IATA PPM* Modells betont den Altersfaktor wesentlich stärker als die dynamische Lufthansa *DMC*-Methode. Das ist an den Exponenten der Altersfaktoren zu erkennen (*IATA PPM*: 0,324, dyn. Lufthansa: 0,115).

In diesem Absatz wird noch einmal auf die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit eingegangen. Das Problem beim Vergleich der Methoden ist der Unterschied der Betrachtungsjahre. So werden die Beschäftigungsparameter aus dem Jahre 1999 (IGV 1999) mit den Methoden von 1989 (Lufthansa 1994), 1990 (Dechow) und 1996 (*IATA PPM*) gerechnet. Das Berechnungsjahr der Methoden war immer 1999. Wichtig bei dieser Betrachtung ist u.a. vor allem, dass die Entwicklungsalter bei allen Methoden identisch sind, da sonst die Kosten nicht vergleichbar wären.

5.5 Lufthansa Instandhaltungsgeneralvertrag 1999

5.5.1 Inhalt des Vertrags

Die Preise für Wartung und Überholung der Flugzeuge der Lufthansa Passagierflotte des Jahres 1999 sind im Instandhaltungsgeneralvertrag (IGV) zwischen der Lufthansa AG (DLH) und der Lufthansa Technik AG (LHT) verbindlich festgelegt.

Der Vertrag beinhaltet folgende Teilflottenflugzeugmuster:

- B737-300/-500,
- A319-100,
- A320-200,
- A321-100/-200,
- A310-300,
- A300-600/-600R,
- A340-200/-300,
- B747-200/-400M/-400L.

Weiterhin ist die für 1999 angesetzte Flottenbeschäftigung als Grundlage für die Höhe der Preise im Vertragsanhang **Einsatzpläne/Einsatzdaten DLH-Fluggerät** festgelegt. Diese Beschäftigung wird beschrieben durch die Größen:

- durchschnittliche Anzahl der Flugzeuge der Teilflotte im Beschäftigungsjahr (Flz-BJ),
- Flugstunden der Teilflotte (FH),
- Anzahl der Flugzyklen der Teilflotte (Landungen).

Die Daten sind im *Anhang 13: Beschäftigungsdaten der Lufthansaflotte nach IGV 1999* dargestellt.

Es wird für jede Teilflotte ein **Festpreis** pro Flugzeugbeschäftigungsjahr für Wartungsleistungen angesetzt. Weiter werden flugstundenbezogene Preise für:

- **Flugzeugwartung**,
- Triebwerksüberholung,
- **APU-Überholung**,
- und **Geräteüberholung**

angegeben. Die Entgelte für Überholungsmaßnahmen sind in ereignisbezogenen Festpreisen für

- **IL**,
- **D-check**,
- **Fahrwerksüberholung**,
- **NLG (Nose Landing Gear)**,
- und Lackierung

festgeschrieben. Zusätzlich zu den ISH-Aufwendungen wird eine sog. *Stockrent* angegeben. Das sind Aufwendungen für die Lagerhaltung von Ersatzteilen.

Die Position Flugzeugwartung umfasst alle *line* und *light maintenance* Anteile. Nur bei den auf der Kurzstrecke eingesetzten Flugzeugen entfallen die *trip checks*, da sie vom Cockpitpersonal durchgeführt werden.

Die für den Vergleich mit dem *IATA PPM* Regressionsmodell relevanten Größen sind die fettgedruckten Preise. Die anderen Leistungen wie z.B. Lackierungen der Flugzeuge - die für ein ordentliches äußeres Erscheinungsbild notwendig sind, jedoch nichts mit der Aufrechterhaltung der betrieblichen Sicherheit zu tun haben - müssen für den Vergleich unberücksichtigt bleiben, da sie nicht zum Umfang der *IATA PPM* Daten gehören.

5.5.2 Glättung der Überholungsereignisse

Zur Durchführung der Glättung der Überholungsereignisse wurde das Glättungsmodell der DLH verwendet. Darin enthalten sind die Überholungsintervalle, über die die Ereigniskosten „verschmiert“ werden. Die nicht im IGV angegebenen Preise wurden nach folgendem Schema geschätzt. So wurde angenommen, dass die Preise

- der *IL* ■% bei *narrow body*⁴⁷- und ■% bei *wide body*⁴⁸-Flugzeugen denen der *D-checks* entsprechen.
- der *IL* und *D-checks* und Neuerungen an Haupt- und Bugfahrwerk der Flugzeugfamilien⁴⁹ identisch sind.

Der Verlauf der Glättungskosten ist eine Sprungfunktion, denn die Überholungskosten werden nur über die dem *check* zuzuordnenden Perioden geglättet. In *Abb. 5.13: Verlauf der geglätteten Überholungskosten* ist deren Verlauf und eine dazugehörige potenzielle Ausgleichskurve am Beispiel der B747-200 und des A300-600 dargestellt.



Abb. 5.13: Verlauf der geglätteten Überholungskosten

Bei neueren Flugzeugmustern war nicht immer ein steigender Verlauf der Kosten zu beobachten. Da es nicht plausibel erscheint, dass ISH-Kosten mit dem Dienstalter abnehmen, wurden die Kosten gemittelt. Dieser Sachverhalt ist durch fehlende Preisdaten der neueren Flugzeugmuster zu erklären. Bezieht man die geglätteten Jahrespreise auf die Flugstunden, können sie den flugstundenbezogenen Preisen zugeordnet werden. Zur besseren Übersichtlichkeit sind die IGV-Kosten der betriebenen Flugzeuge in mit ihren Anteilen in *Abb. 5.14: Aufteilung der IGV-Kosten* grafisch dargestellt. Links sind die Kurzstrecken-, rechts die Mittel- und Langstreckenflugzeuge gezeigt.



Abb. 5.14: Aufteilung der IGV-Kosten

Anhand *Abb. 5.14: Aufteilung der IGV-Kosten* kann man deutlich diejenigen Leistungen identifizieren, die den Haupteinfluss auf die ISH-Kosten haben. Dies sind der Festpreis für Wartung, Geräteüberholung, Flugzeugwartung und Überholung. Die Überholung der APU trägt kaum zu den Gesamtkosten bei.

Nach diesen Annahmen bezahlte die DLH im Jahr 1999 einen Betrag von rund ■ Mio. DM für die ISH von Zelle und Systemen der 216 Flugzeuge. Zusätzlich dazu kommen noch Kosten für

- die Triebwerksüberholung von ■ Mio. DM,
- die Ersatzteillagerhaltung von ■ Mio. DM,
- und für Technische Neuerungen von ■ Mio. DM.

Inklusive aller Kosten zahlt demnach die DLH der LHT jährlich rd. ■ DM für die ISH ihrer Flotte.

Dieser Wert muss nicht unbedingt mit den tatsächlich bezahlten Preisen übereinstimmen, da es sich bei dieser Vorgehensweise mit den oben getroffenen Annahmen um spezielle Vergleichsbedingungen handelt.

Die ISH-Preise für Zellen und Systeme des IGV 1999 sind mit den in *Kap. 5.4.3 Anpassung der Lufthansa 1994 Methode* behandelten und auf das Kostenniveau von 1999 angepassten Modellen in *Abb. 5.15: Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1999* dargestellt.

⁴⁷ *narrow body* (= engl. für enger Rumpfdurchmesser), A319/20/21, B737, hauptsächlich Kurzstreckenflugzeuge

⁴⁸ *wide body* (= engl. für weiter Rumpfdurchmesser), A300, A340, B747, hauptsächlich Langstreckenflugzeuge

⁴⁹ Gilt für die Familien B737, A300, A340, A319/20/21, B747.

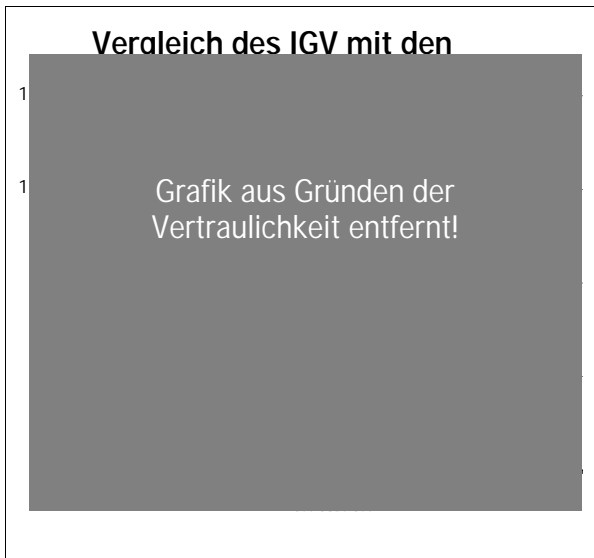


Abb. 5.15: Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1999

Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass die Kosten für die Schrotteilentsorgung (*scrap costs*) unberücksichtigt bleiben, weil keine Daten vorgelegen haben. Die Gesamtkosten für Technische Neuerungen (Modifikationen) von rd. \blacksquare Mio. DM wurden durch die Gesamtflugstunden der Flotte (\blacksquare FH) dividiert. Die sich ergebenden \blacksquare DM/FH wurden jedem Flugzeugmuster zugeordnet, da keine Schlüsselung für Modifikationskosten vorlag. Diese Verteilung ist fragwürdig, weil damit unterstellt wird, dass unabhängig von der Flugzeuggröße, Dienstalter und Entwicklungsalter jedes Flugzeugmuster identische Modifikationskosten produziert.

Grundsätzlich kann man in der Grafik erkennen, dass die Preise des IGV höher sind als die Kosten des IATA PPM Modells. Bei den Kurzstreckenflugzeugen weisen nur der A300 und A310 geringere ISH-Preise auf. Die Abweichungen der IGV Preise zum IATA PPM Modell ist in Tab. 5.5: *Prozentuale Abweichungen der Kosten*. dargestellt.

Kurzstreckenflüge

B737-300	B737-500	A319-100	A320-200	A321-100	A310-300	A300-600SR
\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare

Mittel- und Langstreckenflüge

A300-600LR1	A300-600LR2	A340-200	A340-300	B747-200	B747-400E	B747-400D
\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare	\blacksquare

Tab. 5.5: Prozentuale Abweichungen der Kosten zwischen IGV und IATA PPM Modell

Summiert man die Unterschiede über alle Flotten auf, ergibt sich ein Differenzbetrag von rd. \blacksquare Mio. DM, den die DLH im Jahr 1999 \blacksquare bezahlt hat als der internationale Durchschnitt ausweist.

5.5.3 Der zeitliche Aspekt beim Vergleich internationaler Instandhaltungskosten

Der Unterschied zwischen internationalen Kosten des IATA PPM Modells und den Preisen des IGV von 1999 ist zeitlich keinesfalls konstant. Je nach Betrachtungsjahr ändern sich die Unterschiede aufgrund der verschiedenen Eskalationen und Dollarkurse. Als Vergleich zum Kostenniveau von 1999 ist in Abb. 5.16: *Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1996* das Kostenniveau von 1996 abgebildet.

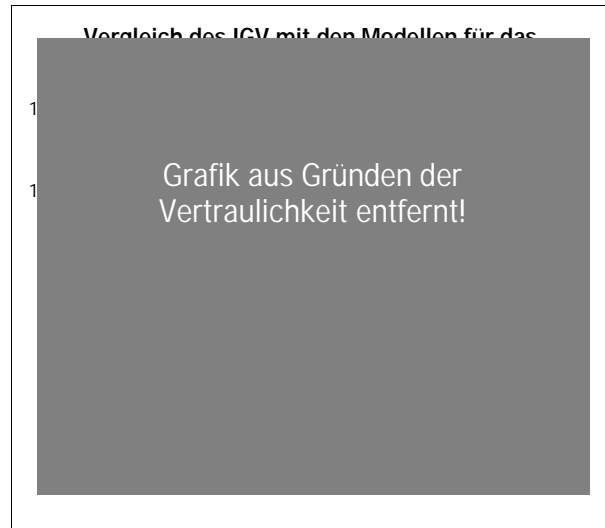


Abb. 5.16: Vergleich des IGV mit den Modellen auf dem Kostenniveau von 1996

Wie zu erkennen ist, sind nicht nur die Abweichungen zwischen IGV und IATA PPM Modell größer, sondern auch zwischen der dynamischen Lufthansa DMC-Methode und dem IATA PPM Modell. Dieses ist durch die unterschiedlichen Eskalationsraten und Dollarkurse, die für die einzelnen Daten gewählt wurden, zu erklären. Die Vergleichbarmachung von ISH-Kosten auf einer internationalen Basis ist somit immer nur für ein Betrachtungsjahr gültig. Somit erschwert sich auch die Aussage, ob ein ISH-Betrieb billiger ist als ein anderer. In Jahren mit niedrigen Dollarkursen sind amerikanische Betriebe billiger; bei geänderter Währungsparität stellt sich die umgekehrte Entwicklung ein.

Generell lässt sich sagen, dass aufgrund der höheren Inflation der internationalen Stundensätze von rd. \blacksquare % im Gegensatz zu der deutschen Preissteigerung von rd. 3,0% die internationalen Arbeitskosten stärker steigen als die deutschen. Der Grund dafür ist u.a. der hohe wirtschaftliche Entwicklungsstand der Bundesrepublik im Vergleich zu den anderen Nationen der Fluggesellschaften, die in den IATA PPM Daten enthalten sind.

Es ist abzusehen, dass die Inflationsraten in eine Sättigungszone laufen. Seit der Einführung des Euros im Jahre 1999 ist zumindest innereuropäisch eine Homogenisierung der Arbeitskostenentwicklung zu erwarten.

6 Fazit

6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der Arbeit abschließend kritisch betrachtet werden. Weiterhin werden Aspekte aufgezählt, die nicht behandelt wurden, sei es aus Zeitgründen oder, dass es den Umfang der Arbeit übertroffen hätte.

6.2 Diskussion der Ergebnisse der Studienarbeit

Kostenniveau

Generell ist die Abschätzung der ISH-Kosten mit Hilfe eines *top-down*-Ansatzes gelungen. Beweis dafür sind die geringen Abweichungen beim Vergleich mit den Kostendaten internationaler Fluggesellschaften (*siehe Kap. 5.3 Vergleich und Anpassung des Modells an die Instandhaltungskosten internationaler Fluggesellschaften*) und mit dem dynamischen Lufthansa DMC-Modell (*siehe Kap. 5.4 Vergleich des IATA PPM Modells mit der Lufthansa DMC-Methode 1994*). So lagen die Unterschiede respektive bei 6,32 bzw. 7,39%. Diese Genauigkeit ist bei der Modellierung von ISH-Kosten ein tolerierbarer Wert, denn es muss der Zusammenhang zu den DOC-Methoden gesehen werden, die - im Falle der Lufthansa Methode - eine Genauigkeit von ca. 10% aufweisen.

Kostentrends

Weiterhin konnten die signifikanten Einflussfaktoren Flugzeuggröße (*MTOW*), Dienstalter, Entwicklungsalter und Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnis des bewährten Lufthansa 1994 DMC-Modells verifiziert werden. Die Flottengröße als Parameter für die direkten ISH-Kosten konnte nicht bestätigt werden, da der Einfluss bei Signifikanzanalyse zu gering war.

Modellstruktur

Problematischer hingegen ist die „Verschmierung“ der ISH-Kosten durch das *IATA PPM* Modell, da es nicht zwischen Arbeits- und Materialkosten differenziert. Der Versuch der Ermittlung der Anteile - durch Auswertung der Datenquelle aus dem Jahr 1996 - kann nur die zu diesem Zeitpunkt momentane Verteilung widerspiegeln, die sich aber durch den zeitlichen Verlauf und die unterschiedlichen Eskalationsraten verschiebt. So ist bei dem hier erarbeiteten Modell deshalb zu beachten, dass die Daten bereits vier Jahre alt sind und sich verändert haben können.

Internationaler Vergleich

Es konnte gezeigt werden, dass der Vergleich der ISH-Kosten auf einer internationalen Datenbasis sehr komplex ist, da wirtschaftliche Entwicklungen - die mit den Eskalationsraten für Stundensätze korrelieren - einzelner Wirtschaftsregionen unterschiedlich sind.

Datenquelle

Die Verwendung der in der Aufgabenstellung vorgesehenen Datenquellen konnte nicht berücksichtigt werden, da

- die Auswertung der Gewinn- und Verlustrechnung der Luftverkehrsgesellschaften unbefriedigend war,
- die Erhebungen des *DOT (form 41)* nicht verfügbar waren.

Es hat sich bei der Bearbeitung des Themas herausgestellt, dass die eigentliche Schwierigkeit der ISH-Kostenabschätzung nicht in der Inkonsistenz großangelegter Datenquellen wie der *IATA PPM* liegt, sondern in der eigentlichen Beschaffung der Daten. Diese Kostendaten sind Teil der Betriebskosten eines Unternehmens und somit für das *benchmarking* sehr begehrt. So können solche Abschätzungen nur mit speziellen Datensammlungen durchgeführt werden, deren Bereitstellung intensiver und vertrauensvoller Geschäftsbeziehungen bedarf. Eine Abschätzung aus öffentlich zugänglichen Daten wird deshalb in einem **wettbewerbsorientierten Luftverkehrsmarkt** niemals möglich sein.

6.3 Ausblick

6.3.1 Verwendung von mehreren unabhängigen Datenquellen

Die Modellierung der ISH-Kosten ist - wie bereits diskutiert - stets mit gewisser Ungenauigkeit behaftet. Gründe dafür sind eine Vielzahl von Einflüssen, die in Formeln nicht erfasst werden können. So war selbst die fluggesellschaftsinterne Modellierung der Lufthansa 1994 DMC-Methode nicht genauer als 10%. Die Modellierung der Kosten von internationalen Fluggesellschaften kann deshalb nicht genauer sein. Sinn dieser Arbeit war es, das Kostenniveau mit den hauptsächlichen Einflusstrends der Hauptentwurfs- und Betriebsparameter zu ermitteln. Eine möglichst genaue Nachbildung mit mehrfachem iterativen *curve fitting* wurde nicht angestrebt. So ist die Steigerung der Modellgüte ein Ziel für künftige wissenschaftliche Arbeiten. Für dieses Thema dringend empfohlen wird die Beschaffung weiterer ISH-Kostendatenquellen, wie dem *DOT form 41*. Diese Quelle wäre aus den bereits diskutierten Gründen nicht wesentlich genauer, jedoch hätte man einen weiteren unabhängigen Vergleichsdatensatz und müsste das entwickelte Modell nicht - wie hier durchgeführt - am älteren Lufthansa 1994 DMC-Modell und an den Regressionsdaten selbst verifizieren.

Zu diesem Aspekt sei auch der *IATA PPM* Datensatz erwähnt, der neben dem hier verwendeten Jahrgang von 1996 auch die vollständigen Daten der Jahre 1995 und 1994 enthält. So wäre es möglich, den zeitlichen Verlauf von ISH-Kosten durch Berücksichtigung mehrerer Jahrgänge abzuschätzen. Dementsprechend wäre es möglich, die Verläufe der in *Kap. 3.3.4.4 Lufthansa 1994 DMC-Methode* vorgestellten

Einflüsse von Dienstalter, Entwicklungsalter und Rationalisierungsgrad zu verifizieren.

6.3.2 Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren für die Modellbildung

Weiterhin interessant wäre die tiefergehende Untersuchung von Methoden der Flugzeugherstellern wie Boeing, Airbus und anderer Firmen. Diese Modelle sind wesentlich tiefgreifender, da sie dazu benutzt werden, die ISH-Kosten einzelner Flugzeugsysteme zu bestimmen, um über Modifikationen an den jeweiligen Systemen Kostenveränderungsaussagen machen zu können. Die Modellierung einer Fluggesellschaftsmethode wäre nach diesem Prinzip sicherlich viel zu umfangreich, jedoch sind die Einflussgrößen dieser Methoden für das *IATA PPM* Modell in dieser Studienarbeit unberücksichtigt geblieben.

In diesem Zusammenhang verweist der Autor auf den in *Kap. 3.3.4.4 Lufthansa 1994 DMC-Methode* angesprochenen Rationalisierungsgrad. Dieser Einfluss entspricht einer Lernkurve, bei der die Fluggesellschaften je nach Zeit der Zugehörigkeit eines Flugzeugmusters zur Flotte die ISH effizienter betreibt. Dieser Einfluss bleibt im *IATA PPM* Modell unberücksichtigt und so muss die angepasste Lufthansa 1994 *DMC-Methode* verwendet werden. Der Rechercheaufwand wird zur Ermittlung der Indienststellungsjahre bei einer Fluggesellschaft im großen Maßstab sehr aufwendig sein.

Die bereits angesprochenen Unterschiede in der Modellierung der Flugstunden-Flugzyklus-Verhältnisse sollten auch weitergehend betrachtet werden. Dieser Einfluss ist sehr signifikant, da er neben dem Größenfaktor zu sehr großem Anteil die Unterschiede zwischen Kurz-, Mittel- und Langstreckenbetrieb von Flugzeugen modelliert.

6.3.3 Veränderung der Modellarchitektur

Der in dieser Studienarbeit entwickelte Ansatz beschränkte sich auf die Modellierung der gesamten ISH-Kosten von Zellen und Systemen. Unberücksichtigt blieben dabei die Anteile von Arbeits- und Materialkosten. Da die *IATA PPM* Daten diesbezüglich Auskunft geben, wäre es grundsätzlich möglich, die beiden Kostenanteile zu isolieren. Der Grund, dass die Aufteilung nicht berücksichtigt werden konnte, liegt darin, dass durch die Einbeziehung der *subcontracted*-Kosten - die häufig einen Hauptanteil an den gesamten Kosten haben - die Aufspaltung aus Zeitgründen und Arbeitsumfang nicht möglich war. So bietet die „Entschlüsselung“ dieser Größe Möglichkeit für weitere Diversifizierung des Kostenmodells.

7 Literaturverzeichnis

Air Transport Association of America: Standard Methode of Estimating comparative direct Operating Cost of Turbine Powered Transport Airplanes, 1967

Dechow, cand. Ing. Martin: Diplomarbeit: Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der Instandhaltungskosten von Flugzeugzellen mit Systemen, TU Braunschweig, Institut für Fabriklehre und Unternehmensforschung, Braunschweig 1991

Deutsche Lufthansa AG (HAM OB/M): *Aircraft Maintenance Systems*, Hamburg 1997

Deutsche Lufthansa AG, Lufthansa Technik AG: Instandhaltungsgeneralvertrag (IGV), Revision 1/99, Frankfurt 1999

Deutsche Lufthansa AG (HAM IP/P), *Aircraft Maintenance Costs* 1994, Hamburg 1994

Ernst, Dr. Ing. Richard: Wörterbuch der industriellen Technik Band 1 (deutsch – englisch) und 2 (englisch – deutsch), 5. Auflage, Oscar Brandstetter Verlag, Wiesbaden 1989

Förster, Dr. Erhard: Korrelations- und Regressionsanalyse, Verlag für die Wirtschaft, Berlin-Ost, 1966

Fricke; Prof. Dr. Ing. Manfred: Begleitendes Material zur Vorlesung Luftverkehrswirtschaft und -politik, TU Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr, Berlin 1998

Hartung, Joachim: Statistik, 5. Auflage, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München 1986

Hüttig, Prof. Dr. Ing. Gerhard: Begleitendes Material zur Vorlesung Luftverkehrsbetrieb, TU Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Flugführung und Luftverkehr, Berlin 1998

International Air Transport Association. Begleitendes Material zum IATA PPM Datensatz, 1996

Japanese Aircraft Development Corporation. Standardized Methode of Estimating direct Operation Cost of small Commercial Airplanes, Japan 1998

Klee, Ulrich u.a.: JP *airline-fleets 95/96, 29th edition*, Bucher & Co., Publikationen, Glattbrugg, Switzerland 1995

Marquart, cand. Ing. Ralf: Diplomarbeit: Entwicklung eines parametrischen Modells zur kostenorientierten Bewertung der Instandhaltung von Verkehrsflugzeugen, Hamburg 1997

Müller, cand. Ing. Martin: Diplomarbeit: DOC-orientierte Bewertungsverfahren von zivilen Transportverkehrsflugzeugen / ein Verfahrensvergleich, TU München, Lehrstuhl für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre, München 1992

Oppermann, Alfred: *Aeronautical English*, Aeronautischer Verlag, Baldham b. München 1990

Reetz, cand. Ing. Torsten: *Aircraft Financing* Eigenverlag, Berlin 2000

Schleife, cand. Ing. Andreas: *Joint Aviation Authorities*, Eigenverlag, Berlin 2000

Thorbeck, Prof. Dr. Ing. Jürgen: Begleitendes Material zur Vorlesung Flugzeugentwurf, TU Berlin, Institut für Luft- und Raumfahrt, Fachgebiet Luftfahrzeugbau und Leichtbau, Berlin 1999

Anhang 4: Signifikanzgrenzenverlauf bei der Signifikanzanalyse

Varianzrechnung	Beobachtungen	Parameter	Freiheitsgrade	Student-t-Wert	R ²
1	96	10	86	1,6630	0,179
2	96	9	87	1,6628	0,177
3	96	8	88	1,6626	0,176
4	96	7	89	1,6624	0,175
5	96	6	90	1,6622	0,174
6	96	5	91	1,6620	0,173
7	96	4	92	1,6618	0,173
8	96	3	93	1,6616	0,172
9	96	2	94	1,6614	0,171
10	96	1	95	1,6612	0,170

Irrtumwahrscheinlichkeit
10 %

Anhang 5: 2000er Listenpreise Boeing

Flugzeugmuster	Listenpreis in Mio. US\$
717-200	33.0 - 37.0
737-600	38.0 - 46.0
737-700	43.5 - 51.5
737-800	53.0 - 60.0
737-900	56.0 - 64.0
747-400	174.5 - 194.5
747-400 <i>Frachter</i>	177.0 - 195.0
747-400 <i>Kombi</i>	182.0 - 202.0
757-200	69.5 - 77.5
757-300	76.5 - 84.5
767-200ER	94.0 - 105.5
767-300ER	107.5 - 120.0
767-300 <i>Frachter</i>	115.0 - 126.5
767-400ER	120.0 - 132.5
777-200	142.5 - 160.5
777-200ER	150.0 - 170.5
777-300	167.5 - 192.5
BBJ	37.5
BBJ2	45.0

Anhang 6: Datensatz der Regression

Anhang aus Gründen der
Vertraulichkeit entfernt!

Anhang 7: Daten der Vergleichsrechnung: ATA 1967 DMC-Methode

Parameter	Einheiten	B737-300	A320-200	A300-600SR	A300-600LR	B747-200E	B747-400E
-----------	-----------	----------	----------	------------	------------	-----------	-----------

Eingabe							
MTOW	to	56,47	73,50	150,00	165,00	377,84	385,55
W _{AF}	lbs	50,60	65,94	133,65	146,75	328,46	334,93
Preis FZ ohne TW	Mio. US\$	44	63	126	126	191	248
Flugzeit	h	1,24	1,34	0,87	4,03	8,71	8,28

Methode							
MH pro FH		5,22	6,42	11,32	12,22	24,42	24,84
MH pro Flug		8,84	10,88	19,18	20,72	41,38	42,11
Gesamt MH pro FH		12,35	14,53	33,36	17,37	29,17	29,93

GesamtKost _{Arbeit} pro FH	US\$	422,97	497,81	1142,72	594,82	999,01	1025,09
Kost _{Material} pro FH	US\$	135,70	193,53	388,54	388,54	586,81	763,94
Kost _{Material} pro Flug	US\$	274,93	392,09	787,16	787,16	1.188,86	1.547,72
GesamtKost _{Material} pro FH	US\$	357,42	486,14	1293,32	583,86	723,30	950,86
Gesamt-ISH-Kosten pro FH	US\$	780,39	983,95	2.436,04	1.178,68	1.722,32	1.975,96

Stundensatz in DM	53,09
1996er Dollarkurs	1,55
Stundensatz in US\$	34,25

Anhang 8: Daten der Vergleichsrechnung: Dechow-Methode

Parameter	B737-300	A320-200	A300-600SR	A300-600LR	B747-200E	B747-400E
MTOW in to	56,47	73,50	150,00	165,00	377,84	385,55
OEWE FZ in to	33,56	44,58	92,98	92,98	173,9	188,52
Anzahl TW	2	2	2	2	4	4
utilisation in h	2.603	2.630	2.094	3.349	6.579	5.425
Alter AC in a	7,3	5,5	6,5	9	18	5,8
Zyklen p.a. in n	2.105	1.955	2.669	831	755	655
Preis FZ in TWE 1990	773	1.141	2.088	2.088	3.431	4.156
Preis FZ in TWE 1996	950	1.403	2.566	2.566	4.216	5.107
Preis in Mio. DM 1996	55	81	149	149	245	296
Preis FZ in TWE 1990	618	882	1.770	1.770	2.673	3.480
Preis FZ in TWE 1996	760	1.083	2.175	2.175	3.285	4.276
Preis in Mio. DM 1996	44	63	126	126	191	248
Jahr der Musterzulassung	1984	1988	1984	1984	1970	1988
Jahr der Indienstellung	1986	1989	1987	1987	1976	1989
Berechnungsjahr	1996	1996	1996	1996	1996	1996
Neuheitsgrad Struktur	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Neuheitsgrad Systeme	0,50	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25
Neuheitsgrad Triebwerk	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
Gewichtung der D-check	2,150	2,150	1,000	2,150	3,415	3,415
Gewichtung der IL	2,150	2,150	2,150	2,150	3,415	3,415
Gesamtneuheitsgrad Wartung	0,350	0,750	0,125	0,125	0,125	0,125
FR (Reife)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FEW (Einführung Wartung)	1,004	1,193	1,004	1,004	1,000	1,032
Gesamtneuheitsgrad Umlaufteile	0,350	0,850	0,175	0,175	0,175	0,175
FN	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
FIS	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FEUTE (Einführung Umlaufteile)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
trip check						
WE (Währungseinheiten) trip check	3,21	3,31	3,57	4,10	8,35	7,48
Anzahl p.a.	1.440	1.310	1.929	334	268	181
Kosten in DM/FH	123,42	136,17	229,11	28,46	23,60	17,91
äquivalente MH/FH	1,78	1,97	3,31	0,41	0,34	0,26
Z-check						
MH pro Z-check	12,15	14,06	18,14	24,33	52,53	48,12
Anzahl p.a.	217,69	213,32	234,10	180,61	178,40	175,49
Kosten in DM/FH	56,53	75,33	112,80	72,98	78,87	88,96
äquivalente MH/FH	1,06	1,42	2,12	1,37	1,49	1,68
service check						
MH pro service check	23,17	26,11	32,41	41,94	85,39	78,59
Anzahl p.a.	39,95	39,50	41,64	36,12	35,90	35,60
Kosten in DM/FH	19,78	25,90	35,83	25,16	25,80	29,47
äquivalente MH/FH	0,37	0,49	0,67	0,47	0,49	0,56
ABC-check						
MH ABC-check p.a.	2.583	2.939	3.704	4.863	10.141	9.315
Kosten in DM/FH	57,03	76,29	101,65	83,44	88,19	101,40
äquivalente MH/FH	1,07	1,44	1,91	1,57	1,66	1,91
TW-Wechsel						
MH pro TW-Wechsel	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
Anzahl p.a.	0,43	0,44	0,35	0,56	1,10	0,90
Kosten in DM/FH	1,64	1,95	1,64	1,64	3,27	3,37
äquivalente MH/FH	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06	0,06
RPE						
Kosten in DM/FH	32,67	44,22	200,86	28,16	33,11	34,41
äquivalente MH/FH	0,47	0,64	2,90	0,41	0,48	0,50
sonst. Wartung						
Kosten in DM/FH	30,36	36,58	42,91	27,35	17,59	22,19
äquivalente MH/FH	0,44	0,53	0,62	0,39	0,25	0,32
Materialkosten Wartung						
Kosten in DM/FH	31,59	50,19	98,33	67,11	72,22	74,55
IL1						
MH pro IL1 p.a.	9.451	10.501	15.113	15.113	22.823	24.216
WE pro IL1 p.a.	9.125	10.139	14.591	14.591	22.035	23.380
Kosten in DM/FH	34,30	37,72	68,17	42,63	52,05	66,97
äquivalente MH/FH	0,65	0,71	1,28	0,80	0,98	1,26
Material IL						
WE pro Ereignis	4.705	6.135	10.957	10.957	15.859	20.239
Kosten in DM/FH	19,32	24,93	55,93	34,97	40,93	63,34

D-check						
MH pro D1-check	18.902	21.002	30.225	30.225	45.645	48.431
WE pro D1-check	18.681	20.709	29.614	29.614	44.502	47.192
Kosten in DM/FH	68,59	75,43	63,42	85,25	104,10	133,95
äquivalente MH/FH	1,29	1,42	1,19	1,61	1,96	2,52
Material D-check						
WE pro check	7.942	9.991	16.900	16.900	23.925	30.200
Kosten in DM/FH	32,61	40,61	40,12	53,94	61,74	94,51
UTE-ISH						
WE unkorrigiert p.a.	12.002	14.254	20.146	23.675	42.512	49.016
Kosten in DM/FH	267,44	314,34	558,00	410,02	374,78	524,04
Technische Neuerungen						
Kosten in DM/FH	55,06	80,43	184,77	115,53	96,64	141,97
ISH MH/FH						
ISH Materialkosten/FH	11,79	14,15	24,46	13,54	13,41	16,83
Arbeitskosten/FH in US\$	424,32	509,59	856,41	395,07	426,57	498,64
Materialkosten/FH in US\$	83,52	115,73	194,38	156,02	174,88	232,39
Arbeitskosten-Anteil	84%	81%	82%	72%	71%	68%
Materialkosten-Anteil	16%	19%	18%	28%	29%	32%
DM pro FH						
ISH in Mio. DM p.a.	2,16	2,68	3,75	3,60	7,05	7,57
US\$ pro FH	535,70	658,13	1.157,13	694,60	692,18	901,32
Mio. US\$ p.a.	1,39	1,73	2,42	2,32	4,55	4,89

Stundensatz in DM	53,09
Dollarkurs 1996	1,55
Stundensatz in US\$	34,25

Anhang 9: Daten der Vergleichsrechnung: Lufthansa 1994 DMC-Methode

Parameter	Einheiten	B737-300	A320-200	A300-600SR	A300-600LR	B747-200	B747-400
Instandhaltung Zelle und Systeme							
Eingabe							
ETOPS Faktor _{Arbeit}		5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
ETOPS Faktor _{Material}		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Year _{base}		1989	1989	1989	1989	1989	1989
Year _{calculation}		1996	1996	1996	1996	1996	1996
Year _{certification base aircraft}		1967	1988	1983	1983	1969	1969
Year _{certification derivative}		1984	1988	1984	1984	1970	1988
Year _{delivery}		1986	1989	1987	1987	1976	1989
dispatch (r, s, m, l)		s	s	s	m	l	l
Kost _{Arbeit} in DM	DM/h	53,09	53,09	53,09	53,09	53,09	53,09
Kost _{Arbeit} in US\$	US\$/h	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25	34,25
Inf _{Arbeit}		3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Inf _{Material}		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Kurs _{US\$,DM}	DM/\$	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Age _{service}	a	7,3	5,5	6,5	9	18	5,8
MTOW	to	56,47	73,50	150,00	165,00	377,84	385,55
Flugzeit	h	1,24	1,34	0,87	4,03	8,71	8,28
utilisation	h	2.603	2.630	2.094	3.349	6.579	5.425
Anzahl der TW		2	2	2	2	4	4
Methode							
Year _{service}		1996	1996	1996	1996	1996	1996
Year _{average certification}		1975,5	1988	1983,5	1983,5	1969,5	1978,5
Age _{technology}	a	20,5	8	12,5	12,5	26,5	17,5
Dienstalterfaktor		0,68	0,66	0,67	0,70	0,76	0,66
Größenfaktor		9,73	11,29	16,88	17,81	28,42	28,74
Entwicklungsalterfaktor		0,9743	1,0259	0,9941	0,9941	0,9217	0,9931
calculation figure _{labor}		6	8	11	12	20	19
calculation figure _{Material}		227	263	422	481	930	748
MH/FH	h/FH	3,68	4,35	6,43	7,04	11,28	10,79
MH/Flug	h/Flug	5,21	5,70	12,96	3,07	2,27	2,29
Gesamt MH	h/Flug	8,89	10,05	19,39	10,11	13,56	13,08
Kost _{Arbeit} /FH	DM/FH	471,82	533,55	1.029,52	536,63	719,65	694,53
Kost _{Arbeit} /FH	US\$/FH	304,40	344,23	664,21	346,22	464,29	448,08
Kost _{Material} /FH	DM/FH	77,33	89,48	143,56	163,53	316,13	254,31
Kost _{Material} /Flug	DM/FH	183,41	196,40	485,32	119,35	106,75	90,33
Gesamt Kost _{Material} in DM	DM/FH	260,74	285,89	628,87	282,88	422,89	344,64
Gesamt Kost _{Material} in US\$	US\$/FH	168,22	184,44	405,72	182,50	272,83	222,35
Gesamt-ISH-Kosten	DM/FH	732,56	819,43	1.658,40	819,51	1.142,54	1.039,17
Gesamt-ISH-Kosten	US\$/h	472,62	528,67	1.069,93	528,72	737,12	670,43
Gesamt-ISH-Kosten	Mio. DM p.a.	1,91	2,16	3,47	2,74	7,52	5,64

Flugzeuge aus IGV 1996

utilisation und FH von 1996

Labrate von 1996 3% von LH 1994 (DM 50,05)

Materialkosten mit 3,5% Inflation von der Datenerhebung 1989

Preise von 1989 mit 3,5%

Anhang 10: Daten der Vergleichsrechnung: JADC 1998 DMC-Methode

Parameter	Einheiten	B737-300	A320-200	A300-600SR	A300-600LR	B747-200E	B747-400E
-----------	-----------	----------	----------	------------	------------	-----------	-----------

Eingangsparameter							
MTOW	to	56,47	73,50	150,00	165,00	377,84	385,55
W_{AF}	lbs	50,60	65,94	133,65	146,75	328,46	334,93
Preis FZ ohne TW	Mio. US\$	44	63	126	126	191	248
Flugzeit	h	1,24	1,34	0,87	4,03	8,71	8,28

Methode							
MH/FH	h/FH	1,75	2,09	3,56	3,84	7,79	7,93
MH/Flug	h	1,36	1,70	3,18	3,47	7,45	7,59
Gesamt MH/FH	h/FH	2,85	3,35	7,21	4,70	8,64	8,85
Kost _{Arbeit} /FH	US\$	97,71	114,89	247,10	161,08	296,07	303,00
Kost _{Material} /FH	US\$	21,93	28,58	57,93	63,60	142,35	145,16
Kost _{Material} /Flug	US\$	27,33	35,61	72,19	79,26	177,40	180,90
GesamtKost _{Material} /FH	US\$	39,62	49,91	124,51	79,38	158,70	162,69
Repair/FH	US\$	43,71	40,45	62,30	13,45	6,22	6,55
Gesamt-ISH-Kosten/FH	US\$	181,04	205,25	433,91	253,92	461,00	472,23
burden/FH	US\$	195,42	229,79	494,20	322,17	592,15	605,99

Stundensatz in DM	53,09
1996er Dollarkurs	1,55
Stundensatz in US\$	34,25

Anhang 11: Verlauf der partiellen Korrelationskoeffizienten bei der Signifikanzanalyse

Varianzanalyseschritt	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ausschluss Parameter part. Korr.-koeffizienten	alle	max. Nutzlast	OEW	MTOW.H	Flugzeit	Labrate	Flottengröße	Anz. der TW	Entw. Alter
<i>MTOWmax.manuf.</i>	0,06	-0,06	-0,04						
<i>MTOWmax.airline</i>	0,12	0,12	0,15	0,57	0,61	0,62	0,61	0,71	0,72
<i>OEW</i>	0,05	0,05							
Max. Nutzlast	0,03								
Flugzeit	0,06	0,06	0,07	0,07					
<i>utilisation</i>	-0,41	-0,42	-0,47	-0,48	-0,64	-0,63	-0,62	-0,61	-0,61
Dienstalter	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,33	0,33	0,32	0,41
Flottengröße	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,15			
Entw. Alter	-0,16	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18	-0,16	-0,16	-0,16	
<i>labrate</i>	-0,09	-0,09	-0,08	-0,08	-0,09				
Anz. TW	-0,14	-0,15	-0,18	-0,18	-0,16	-0,15	-0,15		

Anhang 12: Totale Korrelationskoeffizienten des Gesamtkostenansatzes

	GESKOST	MTOWAL	MAXOEW	MAXPL	NOENG	UTILI	FTIME	ACAGE	CERTAGE	FSIZE	LABRATE
GESKOST	1.0000	.4217	.4278	.3987	.4585	-.1624	.1952	.6211	.5104	.0067	.1161
MTOWAL	.4217	1.0000	.9956	.9873	.8239	.6358	.8629	.0404	-.0164	-.3176	.2453
MAXOEW	.4278	.9956	1.0000	.9872	.8089	.6078	.8446	.0254	-.0338	-.3153	.2708
MAXPL	.3987	.9873	.9872	1.0000	.7644	.6374	.8396	.0116	-.0331	-.3036	.2627
NOENG	.4585	.8239	.8089	.7644	1.0000	.3994	.7257	.2250	.1670	-.2365	.1528
UTILI	-.1624	.6358	.6078	.6374	.3994	1.0000	.8412	-.2866	-.2936	-.1887	.1054
FTIME	.1952	.8629	.8446	.8396	.7257	.8412	1.0000	-.0342	-.0751	-.3417	.1140
ACAGE	.6211	.0404	.0254	.0116	.2250	-.2866	-.0342	1.0000	.9174	.1312	.0091
CERTAGE	.5104	-.0164	-.0338	-.0331	.1670	-.2936	-.0751	.9174	1.0000	.1453	-.0640
FSIZE	.0067	-.3176	-.3153	-.3036	-.2365	-.1887	-.3417	.1312	.1453	1.0000	.3551
LABRATE	.1161	.2453	.2708	.2627	.1528	.1054	.1140	.0091	-.0640	.3551	1.0000

Anhang 13: Beschäftigungsdaten der Lufthansaflotte nach IGV 1999

Muster	B737-300	B737-500	A319-100	A320-200	A321-100	A310-300SR	A300-600SR
Flugzeuge/Jahr	39	30	20	33	20,04	3,71	6
FH der Flotte	86.902	71.935	53.680	81.099	47.672	6.894	12.986
Landungen	75.184	68.817	37.764	69.073	43.103	8.527	16.099
<i>utilisation</i> in h	2.228	2.398	2.684	2.458	2.379	1.858	2.164
Zyklen	1.928	2.294	1.888	2.093	2.151	2.298	2.683
Flugzeit in h	1,16	1,05	1,42	1,17	1,11	0,81	0,81

Muster	A300-600LR 1	A300-600LR 2	A340-200	A340-300	B747-200	B747-400E	B747-400D
Flugzeuge/Jahr	5	2	6	13,83	8	24,33	0,5
FH der Flotte	26.439	10.575	29.959	68.670	36.696	129.868	2.621
Landungen	6.940		4.142	7.424	4.693	15.046	287
<i>utilisation</i> in h	5.288	5.288	4.993	4.965	4.587	5.338	5.338
Zyklen	1.388	1.388	690	537	587	618	618
Flugzeit in h	3,81	3,81	7,23	9,25	7,82	8,63	9

Anhang 14: Daten für die Modellverifizierung: Dechow-Quotient

FZ-Muster B737-300 B737-500 A319-100 A320-200 A321-100 A310-300SR A300-600SR A300-600LFA300-600LFA340-200 A340-300 B747-200 B747-400 B747-400

EINGABE DER PARAMETER DER METHODE

Table with columns for aircraft models and rows for various parameters like MTOW, DEW, Anzahl TW, Utilisation in h, etc.

Methode: Wichtungsfaktoren

Table showing weighting factors for different aircraft models across various categories like D-Checks, IL-Checks, etc.

Methode: Kosten bzw. Aufwendungen der Ereignis-Checks

Large table detailing costs and expenses for various check types (Trip, Z-Check, Service-Check, etc.) across different aircraft models.

Anhang 15: Daten für die Modellverifizierung: Anpassung der Lufthansa 1994 DMC-Methode

Dynamisches Lufthansa-Modell

Parameter	Einheiten	B737-300	B737-500	A319-100	A320-200	A321-100	A310-300SR	A300-600SR	A300-600LR	A300-600LR	A340-200	A340-300	B747-200	B747-400	B747-400
Eingabe															
ETOPS Faktor _{Arbeits}		5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
ETOPS Faktor _{Material}		0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Year _{base}		1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989	1989
Year _{calculation}		1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
Year _{certification base aircraft}		1967	1967	1988	1988	1988	1988	1974	1983	1983	1983	1991	1991	1969	1969
Year _{certification derivative}		1984	1989	1996	1988	1993	1985	1984	1984	1984	1992	1991	1970	1988	1988
Year _{delivery}		1986	1990	1996	1989	1994	1987	1987	1987	1987	1992	1993	1976	1989	1989
dispatch (r, s, m, l)		s	s	s	s	s	s	s	m	m	l	l	l	l	l
Kost _{Arbeits} in DM 99	DM/h														
Kost _{Arbeits} in DM 96*	DM/h														
Kost _{Arbeits} in US\$ 99	US\$/h														
Kost _{Arbeits} in US\$ 96*	US\$/h														
Inf _{Arbeits}		3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%	3,0%
Inf _{Material}		3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%
Kurs _{US\$,DM} 1999	DM/\$	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
Kurs _{US\$,DM} 1996		1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Age _{service}	a	10,2	9	2,9	9,3	3,96	10	11,7	11,7	3,7	6,9	3,38	18,1	7,2	7,2
MTOW	to	56,47	52,39	64,00	73,50	83,00	153,00	150,00	165,00	165,00	253,50	253,50	377,84	385,55	385,55
Flugzeit	h	1,16	1,05	1,42	1,17	1,11	0,81	0,81	3,81	3,81	7,23	9,25	7,82	8,63	8,63
utilisation	h	2,228	2,398	2,684	2,458	2,379	1,858	2,164	3,777	3,777	4,993	4,965	4,587	5,338	5,242
Anzahl der TW		2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
Methode															
Year _{service}		1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999	1999
Year _{average certification}		1976	1978	1992	1988	1991	1980	1984	1984	1984	1992	1991	1970	1979	1979
Age _{technology}	a	23,5	21	7	11	8,5	19,5	15,5	15,5	15,5	7,5	8	29,5	20,5	20,5
Dienstalterfaktor		0,71	0,70	0,61	0,70	0,63	0,71	0,72	0,72	0,63	0,68	0,62	0,76	0,68	0,68
Größenfaktor		9,73	9,33	10,44	11,29	12,09	17,07	16,88	17,81	17,81	22,69	22,69	28,42	28,74	28,74
Entwicklungsalterfaktor		0,96	0,98	1,06	0,99	1,03	0,97	0,97	0,97	0,97	1,03	1,03	0,91	0,97	0,97
calculation figure _{labor}		6,59	6,37	6,75	7,86	7,93	11,64	11,80	12,45	10,91	15,82	14,59	19,47	19,05	19,05
calculation figure _{material 99}		322	300	281	383	350	611	628	668	523	813	696	1230	1032	1032
calculation figure _{material 96}		270	251	235	321	293	512	526	560	438	681	583	1030	865	865
MH/FH	h/FH	3,76	3,63	3,85	4,48	4,52	6,64	6,73	7,10	6,22	9,02	8,31	11,10	10,86	10,86
MH/Flug	h/Flug	5,70	6,09	4,75	6,70	7,17	14,40	14,63	3,27	2,86	2,19	1,58	2,49	2,21	2,21
Gesamt MH	h/Flug	9,46	9,72	8,60	11,18	11,68	21,04	21,35	10,36	9,08	11,20	9,89	13,59	13,06	13,06
Kost _{Arbeits} 99/FH	DM/FH	661,09	679,61	600,89	781,29	816,73	1470,51	1492,57	724,52	634,68	783,06	691,42	950,07	913,22	913,22
Kost _{Arbeits} 96/FH	US\$/FH	357,35	367,36	324,81	422,32	441,48	794,87	806,80	391,63	343,07	423,27	373,74	513,55	493,63	493,63
Kost _{Arbeits} 99/Flug	DM/Flug	553,65	569,16	503,24	654,32	684,00	1231,53	1250,01	606,77	531,53	655,80	579,05	795,67	764,81	764,81
Kost _{Arbeits} 96/Flug	US\$/Flug	390,32	401,25	354,77	461,28	482,21	868,21	881,24	427,77	374,72	462,33	408,22	560,93	539,18	539,18
Kost _{Material} 99 /FH	DM/FH	109,51	101,88	95,38	130,24	119,01	207,89	213,58	227,08	177,90	276,51	236,76	418,05	350,88	350,88
Kost _{Material} 99 /Flug	DM/Flug	278,67	286,65	197,35	326,25	316,49	756,28	778,75	175,31	137,34	112,44	75,28	157,24	119,56	119,56
Gesamt Kost _{Material} 99	DM/FH	388,18	388,53	292,73	456,48	435,50	964,17	992,33	402,39	315,24	388,95	312,04	575,29	470,44	470,44
Gesamt Kost _{Material} 99	US\$/FH	209,83	210,01	158,23	246,75	235,40	521,18	536,40	217,51	170,40	210,24	168,67	310,97	254,29	254,29
Kost _{Material} 99 /FH	DM/FH	91,76	85,36	79,91	109,12	99,71	174,18	178,94	190,25	149,05	231,67	198,36	350,25	293,98	293,98
Kost _{Material} 99 /Flug	DM/Flug	233,48	240,17	165,35	273,34	265,16	633,64	652,47	146,88	115,07	94,20	63,07	131,75	100,17	100,17
Gesamt Kost _{Material} 99	DM/Flug	325,23	325,52	245,26	382,46	364,88	807,82	831,41	337,13	264,12	325,87	261,44	482,00	394,15	394,15
Gesamt Kost _{Material} 99	US\$/FH	175,80	175,96	132,57	206,73	197,23	436,66	449,41	182,23	142,77	176,15	141,32	260,54	213,06	213,06
Gesamt-ISH-Kosten 1999	DM/FH	1.049,27	1.068,14	893,62	1.237,77	1.252,23	2.434,69	2.484,91	1.126,91	949,92	1.172,00	1.003,46	1.525,36	1.383,67	1.383,67
Gesamt-ISH-Kosten 1999	US\$/FH	567,17	577,37	483,04	669,07	676,88	1.316,05	1.343,19	609,14	513,47	633,52	542,41	824,52	747,93	747,93
Gesamt-ISH-Kosten 1996*	DM/FH	878,89	894,69	748,50	1.036,78	1.048,88	2.039,35	2.081,42	943,91	795,65	981,67	840,49	1.277,67	1.158,96	1.158,96
Gesamt-ISH-Kosten 1996*	US\$/h	566,12	577,21	487,35	668,02	679,44	1.304,87	1.330,65	610,00	517,49	638,48	549,54	821,47	752,24	752,24
Gesamt-ISH-Kosten p.a.	Mio.DM	2,34	2,56	2,40	3,04	2,98	4,52	5,38	4,26	3,59	5,85	4,98	7,00	7,39	7,25
Abweichung Mildt - LH 94		3,24%	8,02%	1,07%	0,00%	1,58%	14,94%	1,70%	20,44%	5,17%	6,74%	17,28%	6,35%	9,40%	7,47%
		7,38%													
Anteil _{Arbeits} 1999		63,0%	63,6%	67,2%	63,1%	65,2%	60,4%	60,1%	64,3%	66,8%	66,8%	68,9%	62,3%	66,0%	66,0%
Anteil _{Material} 1999		37,0%	36,4%	32,8%	36,9%	34,8%	39,6%	39,9%	35,7%	33,2%	33,2%	31,1%	37,7%	34,0%	34,0%
Anteil _{Arbeits} 1996*		68,9%	69,5%	72,8%	69,1%	71,0%	66,5%	66,2%	70,1%	72,4%	72,4%	74,3%	68,3%	71,7%	71,7%
Anteil _{Material} 1996*		31,1%	30,5%	27,2%	30,9%	29,0%	33,5%	33,8%	29,9%	27,6%	27,6%	25,7%	31,7%	28,3%	28,3%
Flotte aus IGV 1999 utili. und FH von IGV 1999 labrate von IP 1994 mit 3,0% Matkost mit 3,5% von Datenerhebung 1989 Preise von 1989 mit 3,5% DOLLAR - DM 1999 1,85 DOLLAR - DM 1996 1,55															

Anhang 16: Daten für den IGV-Vergleich: Glättungsdaten und Preise

Anhang aus Gründen der
Vertraulichkeit entfernt!

Anhang 17: Daten für den IGV-Vergleich: Preise des IGV 1999

Anhang aus Gründen der
Vertraulichkeit entfernt!