



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Projekt

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Direct Operating Costs (DOC) für Frachtflugzeuge Entwicklung einer Zielfunktion zur Optimierung "grüner" Frachtflugzeuge

Verfasserin: Sevgi Batal

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Abgabedatum: 14.04.2009

Kurzreferat



Diese Studienarbeit versucht die Bewertung von reinen Frachtflugzeugen darzustellen. Dabei werden auf ökonomische sowie ökologische Gegebenheiten Bezug genommen. Dafür werden die erhobenen Emissionsgebühren mit den Flugzeiteinschränkungen verschiedener Frachtflughäfen miteinander verglichen.

Für die Betriebskostenberechnung werden zunächst die Kostenelemente der DOC kurz vorgestellt. Eine grobe Übersicht über vorhandene DOC-Methoden folgt dem. Um die Kosten für reine Frachtflugzeuge erfassen zu können, werden die grundlegenden Eigenschaften von Frachtflugzeugen und dem Luftfrachtverkehr andiskutiert. Dabei werden auf alle Randgebiete der Luftfracht Bezug genommen. Ebenso werden die Wege zur Nachhaltigkeit im Luftverkehr dargestellt. Dazu zählen neben den derzeit erhobenen Lärmentgelte und Emissionsgebühren auch die Diskussion über alternative Treibstoffe. Im Anschluss dazu werden die angedachten Ziele in 10 und 40 Jahren vorgestellt.

Schließlich werden mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse über die Luftfracht versucht, die DOC in Formeln zu erfassen. Im Vergleich dazu werden reelle Kosten aus den Statistiken verschiedener US-Amerikanischer Cargo Airlines tabellarisch festgehalten.



DEPARTMENT FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU

Direct Operating Costs (DOC) für Frachtflugzeuge - Entwicklung einer Zielfunktion zur Optimierung "grüner" Frachtflugzeuge

Aufgabenstellung zum *Projekt 2* gemäß Prüfungsordnung

Hintergrund

Die durch den Betrieb eines Flugzeugs entstehenden Kosten (sog. Direct Operating Costs, DOC) gehören zu den wichtigsten Kennzahlen für die Bewertung von Flugzeugentwürfen. Verschiedene DOC-Methoden sind aus der Vorlesung "Flugzeugentwurf" bekannt. Für dieses Projekt liegt das Hauptaugenmerk auf den Aspekten Frachtflugzeug, Umweltaspekte sowie auf der Anwendbarkeit auf unkonventionelle Kraftstoffe, wie Wasserstoff. Diese Projektarbeit wird im Rahmen des Forschungsprojekts "Grüner Frachter" (<http://GF.ProfScholz.de>) vergeben.

Aufgabe

Es soll bestimmt werden, wie etablierte DOC-Methoden modifiziert werden müssen, um sinnvoll als Basis für die computergestützte Bewertung von umweltfreundlichen Frachtflugzeugen mit dem Flugzeugentwurfsprogramm PrADO genutzt werden zu können.

Dabei soll/sollen:

eine Übersicht über bestehende DOC-/COC-Methoden erstellt werden,
diese Methoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf Frachtflugzeuge, ihrer Beachtung von Umweltaspekten (z. B. in Form von Gebühren und Betriebsbeschränkungen), sowie ihrer Anwendbarkeit auf unkonventionelle Treibstoffe (insb. Wasserstoff) gegliedert und bewertet werden,

Vorschläge für die Entwicklung einer Zielfunktion für die Bewertung und Optimierung von umweltfreundlichen Frachtflugzeugen erarbeitet werden, welche die genannten Aspekte beinhaltet.

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

Inhalt

	Seite
Verzeichnis der Bilder.....	7
Verzeichnis der Tabellen.....	8
Liste der Abkürzungen.....	9
Liste der Indizes	10
1 Einleitung	11
1.1 Motivation.....	11
1.2 Begriffsdefinitionen	11
1.3 Ziel der Arbeit.....	12
1.4 Literaturübersicht	12
1.5 Aufbau der Arbeit	13
2 Kostenanalyse des Flugzeugentwurfs	14
2.1 Übersicht	14
2.2 Randbedingungen bei der DOC	15
2.3 Auswertung der DOC.....	16
2.4 Kostenelemente der DOC	16
2.4.1 Kapitalkosten	17
2.4.2 Versicherungskosten	17
2.4.3 Besatzungskosten	17
2.4.4 Kraftstoffkosten	17
2.4.5 Wartungskosten.....	18
2.4.6 Gebühren	18
2.4.6.1 Landegebühren.....	18
2.4.6.2 Abfertigungsgebühren.....	18
2.4.6.3 Flugsicherungsgebühren	19
3 Luftfrachtverkehr	21
3.1 Luftfracht	21
3.1.1 Gründe für die Luftfracht	21
3.1.2 Luftfrachtarten	22
3.1.3 Gütetransportmittel	23
3.1.4 Frachtfluggesellschaften	23
3.1.5 Der Luftfrachtbrief.....	23
3.1.6 Frachtflughäfen	24
3.2 Reine Frachtflugzeuge	24
4 Nachhaltigkeit im Luftverkehr	26
4.1 Ausgangslage	26

4.2	Schadstoffemission	27
4.2.1	Auswirkungen auf die Umwelt	29
4.2.2	Maßnahmen zur Schadstoffreduktion	30
4.2.2.1	Technische Maßnahmen	30
4.2.2.2	Verbesserte Infrastruktur.....	31
4.2.2.3	Operative Maßnahmen	31
4.2.2.4	Ökonomische Maßnahmen.....	32
4.3	Lärmemission.....	32
4.3.1	Lärmstärke	33
4.3.2	Lärmmessung	34
4.3.3	Richtlinien.....	36
4.4	Alternativer Treibstoff	36
4.4.1	Ölsande.....	36
4.4.2	BTL	37
4.4.3	GTL.....	37
4.4.4	LNG und Biogas	37
4.4.5	Wasserstoff.....	37
4.5	Ziele 2020	38
4.6	Ziele 2050	39
5	DOC für Frachtflugzeuge.....	42
5.1	Übersicht	42
5.2	Unterscheidungsmerkmale.....	43
5.3	Betriebskosten in Formeln	44
5.3.1	Auswertung	46
5.3.2	Abschreibung	47
5.3.3	Zinsen.....	48
5.3.4	Versicherung	48
5.3.5	Kraftstoff.....	49
5.3.6	Personalkosten	49
5.3.7	Gebühren.....	50
5.3.8	Wartung.....	50
5.4	Betriebskosten in Zahlen.....	52
5.5	Luftverkehrsentsgelte	55
6	Zusammenfassung.....	60
7	Schlussbemerkung	61
	Quellenverzeichnis	62

Anhang A Lärm-Parameter	68
A.1 Lärmesswerte für An- und Abflüge	69
A.2 Lärmpegel verschiedener Flugzeugmuster.....	70
A.3 Chapter 3- und Chapter 4-Grenzwerte	71
 Anhang B Emissionsangaben	 72
B.1 Symbole und Vorlagen.....	73
B.2 ICAO NOx Charakteristik.....	74
B.3 Spezifische Emissionswerte für unterschiedliche Betriebszustände.....	75
 Anhang C Flugzyklus	 77
 Anhang D Reichweiten-Diagramme	 78
D.1 Angaben über Nutzlast und max. Abfluggewicht	79
D.2 Angaben über Nutzlast, max. Abfluggewicht, Dienstjahr und Kraftstoffvorratverschiedener Flugzeugmuster.....	80
D.3 Payload-Range Model ATR-72F.....	81
D.4 Payload-Range Model MD-11F	82
D.5 Payload-Range Model B747-400F	83
D.6 Payload-Range Model B777F	84

Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1	Allgemeine Betriebskostenstruktur einer Fluggesellschaft.....	14
Bild 2.2	Prozentualer Vergleich zwischen DOC und COC	15
Bild 2.3	DOC-Vergleich Lang- und Kurzstrecke	19
Bild 3.1	Jährliche Wachstum der Luftfracht	20
Bild 3.2	Warenvolumen und Warenwert.....	22
Bild 3.3	Frachtflugzeuge im Reichweiten-Diagramm	25
Bild 3.4	Kraftstoffkosten über Auslastung.....	25
Bild 4.1	Mittlere Emission aus Triebwerken im Reiseflug.....	27
Bild 4.2	Emissionsmassenströme in Abhängigkeit von der Flugphase	28
Bild 4.3	Fragmentierter Luftraum	30
Bild 4.4	Geräusche und ihre Einzelschallpegel.....	33
Bild 4.5	Anordnungen der Lärmmesspunkte	34
Bild 4.6	Die Triebwerke sind leiser geworden.....	34
Bild 4.7	Überblick über die anzuwendenden Regelwerke	35
Bild 4.8	Ziele für die Luftfahrt von ACARE	39
Bild 5.1	Bedarf an Frachtflugzeugen in 20 Jahren.....	42
Bild 5.2	Alter der im Einsatz befindlichen Frachtflugzeuge.....	44
Bild 5.3	Betriebskosten pro Tonne verschiedener Voll-Frachtflugzeuge.....	53

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 4.1	Masse und Auswirkungen der Verbrennungsprodukte von 1kg Kerosin	29
Tabelle 5.1	Relevante Parameter	45
Tabelle 5.2	Wartungskostenspezifische Einflussparameter der LH	46
Tabelle 5.3	Kenndaten unterschiedlich großer Frachtflugzeuge	53
Tabelle 5.4	DOC per Block Hour	54
Tabelle 5.5	DOC per Trip	55
Tabelle 5.6	FRAPO Entgeltordnung	56
Tabelle 5.7	MUC Entgeltordnung	58
Tabelle 5.8	FLHG Entgeltordnung	59

Liste der Abkürzungen

AA	American Airlines
ACARE	Advisory Council for Aeronautics Research in Europ
AEA	Association of European Airlines
AI	Airbus Industry
App	Landephase (Approach)
ATA	Air Transport Association of America
BH	Block hour
C/O	Steigphase (Climb-On)
dB (A)	Dezibel
DLH	Deutsche Lufthansa
DLR	Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt
DMC	direkte Wartungskosten
DOC	direkten Betriebskosten (Direct Operating Costs)
FH	Flight hour
FTK	Frachttonnenkilometer
ICAO	International Civil Aviation Organisation
IOC	indirekten Betriebskosten (indirect operating costs)
IPCC	Intergovernmental panel on climate change
ISH	Instandhaltung
K	Konstante
m_{cargo}	Masse der Fracht
MTOW	Maximale Abflugmasse m_{MTO}
P	Preis
Propfan	Kunstwort, gebildet aus Propeller und Fan (Gebläse)
PW	Pratt & Whitney
R	Reichweite
T/O	Startphase (Take-off)
TOC	Gesamtbetriebskosten (Total Operating Costs)
UBA	Umweltbundesamt
URL	Universal Resource Locator

Indizes

C	Crew (Flugzeugbesatzung)
CO	Cockpit
DEP	Depreciation (Abschreibung)
ERS	Ersatzteile
F	Fuel (Treibstoff)
FEE	Fees (Gebühren)
GND FEE	Ground Handling Charges (Abfertigungsgebühren)
INS	Insurance (Versicherung)
INT	Interest (Zinsen)
LD FEE	Landing Fees (Landegebühren)
LR	Long-Range
M	Maintenance (Wartung)
NAV FEE	ATC or Navigation Charges (Gebühren der Flugsicherung)
SR	Short-Range
ZELLE	Flugzeugrumpf

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Begriff „Just in Time“ tritt in der heutigen Zeit, wenn es um den internationalen Welt-handel geht, immer stärker in den Vordergrund. So wird dem Luftfrachttransport eine große Wichtigkeit eingeräumt. Längs reichen die Ladekapazitäten der Passagierflugzeuge für diesen Zweck nicht mehr aus. Fabrikneue Vollfrachter sind notwendig um den Bedarf an Luftfracht zu decken. Hierbei sollen die Umweltaforderungen genauso stark berücksichtigt werden wie die Betriebswirtschaftlichen Aspekte. Dabei bedient sich der Luftfahrtsektor seit ungefähr 60 Jahren der Betriebskostenanalyse. Diese unterscheiden sich geringfügig, je nach Flugzeug-muster und sein Einsatz.

Zurzeit gibt es noch keine konkrete Bewertungsmethode von reinen Frachtflugzeugen, die die aktuellen Umweltforderungen sowie die damit verbundenen Emissionsgebühren in die Be-wertung mit einbezieht. Zudem sind die Wenigsten auf reine Frachtflugzeuge zugeschnitten. Hierin liegt die Begründung dieser Arbeit. Es soll anhand bestehender Bewertungsmethoden eine DOC-Methode (Direct Operating Cost-Method) dargestellt werden, die aus heutiger Sicht auf Vollfrachter anwendbar ist.

1.2 Begriffsdefinitionen

Direct Operating Costs (DOC)

DOC für Flugzeuge werden in **Scholz 1999** wie folgt definiert:

Direct Operating Costs (DOC) sind die gesamten Betriebskosten des Flugzeugs.

Die direkten Betriebskosten müssen von den indirekten Betriebskosten (IOC) abgegrenzt wer-den. DOC sind flugzeugabhängige Kosten, wobei es sich bei den IOC um passagierabhängige Kosten handelt. Die Summe der DOC und IOC bilden die Total Operating Costs (TOC).

Eine Betrachtung der DOC ohne den Kapitalwert des Flugzeuges einzubeziehen, wird durch sogenannte Cash DOC bzw. Cash Operating Costs (COC) beschrieben.

In dieser Arbeit wird ausschließlich auf die DOC Bezug genommen.

Nachhaltigkeit

Der Begriff hat einen forstwirtschaftlichen Ursprung und wurde in **Brundtland 1987** definiert als:

Entwicklung, die den gegenwärtigen Bedarf zu decken vermag, ohne gleichzeitig späteren Generationen die Deckung des ihren zu verbauen.

Die Nachhaltigkeit fordert neben dem Wirtschaftswachstum auch die Erhaltung der Umwelt und ihrer Funktion. Damit ist gewährleistet, dass kein zwingender Zielkonflikt zwischen Wirtschaftswachstum und Umweltschutz bestehen muss.

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Erschließung einer DOC-Methode, dass das Bewerten von reinen Frachtflugzeugen ermöglicht bzw. erleichtert. Dabei werden die ökologischen Aspekte genauso einbezogen wie die ökonomischen Gesichtspunkte. Die Randbedingungen wie Hersteller- und Betreiberanforderungen zu Reichweite und Einsatzdauer der Frachtflugzeuge spielen hier eine entscheidende Rolle. Zudem wird in diesem Zusammenhang näher auf die Flughafeninfrastruktur eingegangen. Die Emissionsgebühren, die einen Schritt zur Nachhaltigkeit darstellen sollen, werden am Beispiel verschiedener Großflughäfen betrachtet. Im Anschluss soll der Unterschied zwischen Langstrecken- und Kurzstrecken Frachtflugzeugen dargelegt werden.

1.4 Literaturübersicht

In der deutschsprachigen sowie englischsprachigen Literatur wurden nur wenige Bücher gefunden. Die ausfindig gemachten Bücher gehen zudem nur kurz in die Betriebskostenberechnung der Frachtflugzeuge ein. Ein guter Gesamtüberblick über die Luftfahrt ist mit dem Buch von **Gleich 2007** gegeben.

Sinnvoller stellte sich das Kontaktieren der Flugzeugherstellern sowie –Betreiber heraus. Jedoch erwies sich die direkte Informationsbeschaffung schwierig. Aus Datenschutz- sowie Wettbewerbsgründen wurden nur wenige Informationen erteilt.

Aus diesem Grund sind gibt es keine direkte Quelle, die als Grundlage für diese Arbeit dient. Vielmehr bilden diverse Internetseiten sowie Kurze Gespräche mit Luftfahrtsachverständigern und –Experten die Plattform. Vieles musste auch aus Statistiken zusammengestellt werden.

1.5 Aufbau der Arbeit

Für die Erarbeitung einer allgemein gültigen Bewertungsmethode für reine Frachtflugzeuge, wird zunächst versucht den reinen Luftfrachtverkehr zu erfassen. Im Anschluss werden auf die heutigen Umwelanforderungen eingegangen. Dabei wird diskutiert wie viel Einfluss die Flughäfen sowie die Flugzeughersteller und -Betreiber auf die Wirtschaftlichkeit und Umwelt haben.

Schließlich soll die Arbeit aus der Sicht der -Betreiber ein Langstreckenflugzeug mit einem Kurz- und Mittelstreckenflugzeug vergleichen. Für die anfallenden Emissionsgebühren werden große Frachtflughäfen herangezogen. Am Ende werden verschiedene Frachtflugzeuge hinsichtlich ihrer Betriebskosten verglichen.

Abschnitt 2 beschreibt allgemein die Kostenzusammensetzung der DOC.

Abschnitt 3 behandelt die Thematik Luftfracht.

Abschnitt 4 erläutert die Aspekte der Nachhaltigkeit.

Abschnitt 5 gibt konkretere Zahlenwerte für die DOC von Frachtflugzeugen wieder.

Abschnitt 6 gibt eine kleine Zusammenfassung wieder.

Anhang A enthält die Lärm-Parameter, die für die Berechnung von Lärmemissionen eine wichtige Rolle spielen

Anhang B enthält Parameter, die wichtig sind um die Emissionsabgaben berechnen zu können.

Anhang C gibt ein Schaubild wieder, mit dessen Hilfe die Flugzyklen über die Flugzeit abgelesen werden können.

Anhang D zeigt die relevanten Reichweiten-Diagramme und Schaubilder über die Nutzlasten sowie max. Abfluggewichte der ausgewählten Frachtflugzeuge.

2 Kostenanalyse des Flugzeugentwurfs

2.1 Übersicht

Ein neuer Flugzeugentwurf kann mit einer Kosten-Nutzen-Analyse wettbewerbsfähig beschrieben werden. Hierfür gibt es zahlreiche Modelle, die durch Abkürzungen wie LCC, COO, DOC, IOC, TOC, COC gekennzeichnet werden. Alle Kalkulationsmodelle versuchen die Wirtschaftlichkeit eines Flugzeuges zu bewerten damit ein Vergleich ähnlicher Flugzeugmuster möglich wird. Weiterhin ergibt sich dabei die Möglichkeit zum Vergleich konkurrierender Flugzeugmuster. Der letztgenannte Aspekt ist der häufigste Grund für die Durchführung von Betriebskostenberechnungen (**Scholz 1999**).

Als übliche Methode um den Kosten-Nutzen-Verhältnis neuer Flugzeugmuster wiederzugeben, hat sich in der Praxis die DOC-Methode (Direkt Operating Cost) etabliert. Dieser beschreibt die direkten Betriebskosten eines Flugzeuges. Dabei wird auf fixe und variable Kosten unterschieden, wie im **Bild 2.1** dargestellt. Während die DOC flugzeugabhängige Kosten beschreiben, gibt die IOC (Indirect Operating Cost) passagierabhängigen bzw. flugzeugunabhängigen Kosten wieder. Die Summe dieser beiden Kostenteile bilden am Ende die Total Operating Costs (TOC). Die Anwendung der Life Cycle Costs (LCC) berücksichtigt in der Kostenrechnung die gesamten Projektkosten. Dabei finden sich die Fertigungs- und Entwicklungskosten des Flugzeuges für die Betreiber im Kaufpreis wieder. Die Costs Of Ownership (COO) ist der DOC-Methode ähnlich und beinhaltet Kostenbestandteile, die rein aus dem Besitz eines Flugzeuges resultieren (**Scholz 1999**). In dem **Bild 2.2** ist der Unterschied DOC/COC qualitativ für ein fabrikneues Flugzeug bei einer Reichweite von 1000nm (1852km) dargestellt.

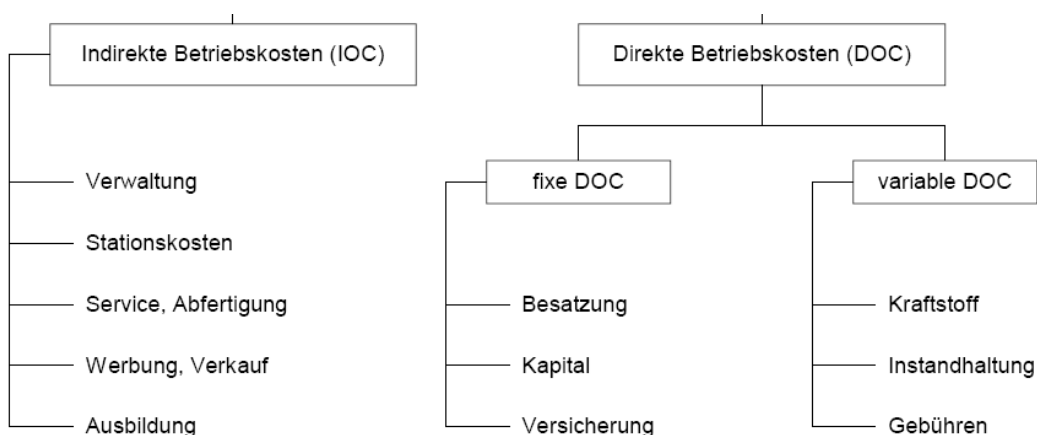


Bild 2.1 Allgemeine Betriebskostenstruktur einer Fluggesellschaft (**Pfüller 2002**)

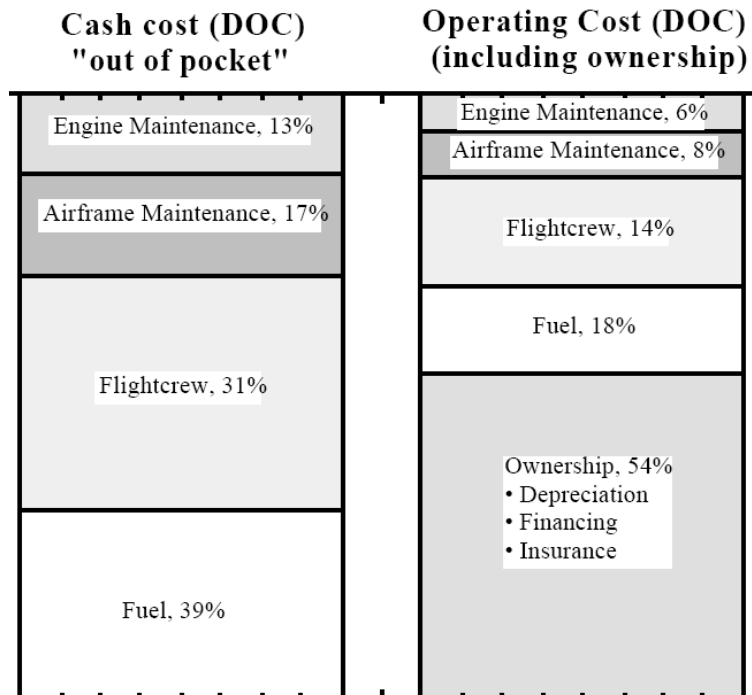


Bild 2.2 Prozentualer Vergleich zwischen DOC und COC (Mason 1997)

2.2 Randbedingungen bei der DOC

Flugzeuge werden von Flugzeugherstellern gefertigt und an verschiedene Flugzeugbetreibern oder Leasing-Unternehmen verkauft. Jedes Flugzeug hat ihre eigene, ganz spezielle Aufgabe zu erfüllen. Dabei wird grob in Passagier- und Frachtflugzeuge sowie Business- und Privatjets unterschieden. Auch die Unterscheidung in Kurz-/Mittel- und Langstreckenflugzeuge ist von großer Wichtigkeit.

Somit sollte ein DOC-Vergleich zum einen die spezifischen Randbedingungen einer Airline möglichst gut abbilden, zum anderen müssen die zu vergleichenden Flugzeugmuster unter denselben standardisierten Vorgaben gerechnet werden. Es macht z.B. kein Sinn ein Kurz- und Langstreckenflugzeug zu vergleichen. Sowohl die Leistungen und der damit verbundener Preis, die jährliche Nutzung des Flugzeuges und der typische Einsatzgebiet, als auch der erforderliche Service erfordern eine Trennung.

Zum Zweck der Aktualisierung erstellter DOC-Methoden werden in unregelmäßigen Abständen die Modelle der Wirklichkeit angepasst. Die Anforderungen heutzutage spiegeln sich in dem Begriff „grün“ wieder und sollen hier diskutiert und eingebracht werden.

2.3 Auswertung der DOC

Als Ergebnis einer Kalkulation bezieht man die Betriebskosten auf:

- Blockstunde (\$/h)
- Flugstrecke (\$/km)
- Flug (\$/Trip)
- Sitzplatz und Flugstrecke \$/SKO (\$/Passagier-km) bzw.
- Fracht und Flugstrecke \$/TKO (\$/Fracht-km)

Mit diesen Kenngrößen kann eine Luftverkehrsgesellschaft bei gegebenen Tarifen das Fluggerät oder bei vorhandenem Fluggerät die Tarife anpassen. Dieses geschieht nach folgendem Wechselspiel: Die DOC/SKO sinken, dagegen steigen die DOC/km mit zunehmender Flugzeuggröße.

2.4 Kostenelemente der DOC-Methode

Es existieren DOC-Kalkulationsmodelle von Flugzeugherstellern, -Betreibern sowie Luftfahrtvereinigungen, z.B. Air Transport Association of America (ATA), Association of European Airlines (AEA), Japanese Aircraft Development Corporation (JADC), Deutsche Lufthansa (DLH), The Boeing Company (TBC), Airbus Industries (AI) sowie Fokker. Dabei werden im Allgemeinen dieselben Kostenelemente berücksichtigt:

- Abschreibungen C_{DEP}
- Zinsen C_{INT}
- Versicherung C_{INS}
- Kraftstoff C_F
- Wartung C_M
- Besatzung C_C
- Gebühren. C_{FEE}

Schließlich ergibt die Summe dieser Elemente die DOC.

$$C_{DOC} = C_{DEP} + C_{INT} + C_{INS} + C_F + C_M + C_C + C_{FEE}$$

Lediglich werden die einzelnen Kostenelemente unterschiedlich detailliert aufgelistet. Zudem gibt es Abweichungen im Genauigkeitsgrad der Kostenrechnung. Ein Hersteller wird wie bekannt versuchen sein Produkt „schön zu rechnen“, wohingegen eine Airline sich eine Berech-

nungsmethode annehmen wird, wo die eigentlich anfallenden Kosten am ehesten wiedergegeben werden. Für Gesetzeserlässe sowie objektive Flugzeugvergleiche und Statistiken haben die Luftfahrtvereinigungen die Vorreiterrolle bezüglich der DOC-Methode eingenommen.

2.4.1 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten ergeben sich sowohl aus der Abschreibungszeit des Flugzeuges selbst und der Erstausrüstung an Ersatzteilen, als auch aus dem unterstellten Zinssatz. Generell beläuft sich der Abschreibungszeitraum auf ca. 15 Jahre und 5,4% Kapitalzins bei einer Bankfinanzierung.

2.4.2 Versicherungskosten

Die Versicherungskosten müssten zu den Kapitalkosten gerechnet werden. Für die DOC werden nur Kasko-, Haftpflicht-, Kriegsrisiko- und Schadensfreiheitsrabatt-Rückversicherung verwendet.

2.4.3 Besatzungskosten

Die für die DOC relevanten Bestandteile der Besatzungskosten beinhalten Grundgehalt, Flugzulagen und Sozialaufwendungen. Eine Einteilung der Besatzung erfolgt in Cockpit- und Kabinenbesatzung. Der Kostenanteil $C_{C,Kabine}$ wird hier im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter beachtet, da Vollfrachter von Interesse sind.

2.4.4 Kraftstoffkosten

Wie die übrigen variablen DOC-Anteile sind die Kraftstoffkosten an die Nutzung des Gerätes gebunden. Je nach Flugstrecke und –Dauer unterscheiden sich die Kraftstoffkosten C_F . Zur Ermittlung der Kraftstoffkosten wird für das DOC-Modell der Verbrauch nach einem normierten Verfahren für alle Flugzeuge ermittelt. Das Betriebsleergewicht wird festgelegt und mit maximaler Nutzlast gerechnet. Die Anzahl der Flüge pro Jahr und die aktuellen Kraftstoffpreise bestimmen somit die Kraftstoffkosten. Grundsätzlich ist bei den Kraftstoffkosten

zu erkennen, dass Langstreckenflugzeuge einen doppelt so hohen C_F aufweisen als Kurzstreckenflugzeuge. Maßnahmen zur Kraftstoffersparnis ist bei der Langstrecke besonders wichtig.

2.4.5 Wartung

Die Wartungskosten setzen sich zusammen aus Arbeits- und Materialkosten für Flugzeugzelle und Triebwerk. Wichtige Einflussgrößen sind der Preis des Flugzeugs, Auslegungs- und Eigengewichte, Entwicklungsalter sowie das Verhältnis von Flugstunden zu Landungen.

2.4.6 Gebühren

Die Gebühren setzen sich bei der LH-Methode aus drei Kostenbestandteilen im Unterschied zu der AI-Methode zusammen. Die Unterscheidung erfolgt in Lande-, Navigations- und Abfertigungsgebühren, wobei der letztere bei der AI-Methode nicht berücksichtigt wird.

2.4.6.1 Landegebühren

Ihre Höhe richtet sich nach dem zugelassenen Startgewicht und der Zahl der Landungen. Als Vergleich werden später die Gebührenordnungen europäischer (Fracht-)Flughäfen herangezogen, bei dem die Umweltaspekte einen merklichen Kostenteil zusteuern werden.

2.4.6.2 Abfertigungsgebühren

Hiermit werden die Flughafendienste abgegolten. Ihre Höhe ist eine Funktion der Nutzlast und der Zahl der Landungen.

2.4.6.3 Flugsicherungs- bzw. Navigationsgebühren

Bestimmend für die Navigationsgebühr ist sowohl Flugstrecke als auch das zugelassene Startgewicht. Die Region in der geflogen wird, birgt den größten Einfluss für $C_{FEE,NAV}$. In Europa

beispielweise werden die höchsten Navigationsgebühren eingefordert, die in anderen Teilen der Welt gänzlich unbekannt sind.

Die Gebührenbelastung trifft besonders die Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge, da diese nicht nur mehr Landungen produzieren, sondern auch im teuren Eurocontrol-Bereich bewegt werden (ausgehend von einem Einsatzgebiet in Europa). Der Anteil der Gebühren bei Langstreckenflugzeugen liegt um einen Drittel unter dem der Kurzstreckenflugzeuge, wie es im **Bild 2.3** ersichtlich wird.

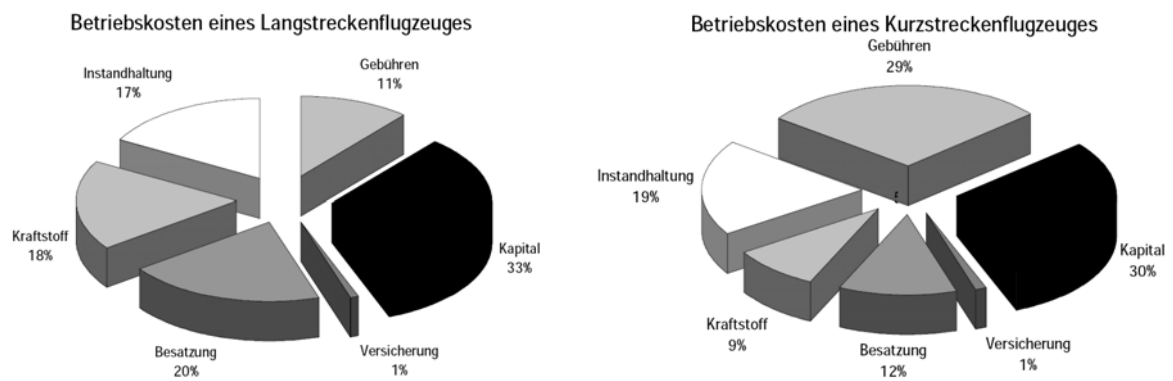


Bild 2.3 DOC-Vergleich Lang- und Kurzstrecke (Mildt 2000)

3 Luftfrachtverkehr

3.1 Luftfracht

Mit dem Transport von Postgut im Jahre 1911 hat sich die Luftfracht stetig entwickelt. Der Einsatz von Großraumflugzeugen sowie die Entwicklung reiner Frachtflugzeuge in den 60er Jahren führten zu einer höheren Attraktivität der Luftfracht. Zwar ist der Luftfrachtweg die jüngste Güterversandmöglichkeit auf dem Weltmarkt, aber in den vergangenen Jahren hat kein vergleichbarer Verkehrsträger so hohe Zuwachsraten bei den Transportleistungen erzielt wie die Flugzeuge. Zudem wird ein erheblich höheres Wachstum vorhergesagt, das das **Bild 3.1** verdeutlicht.

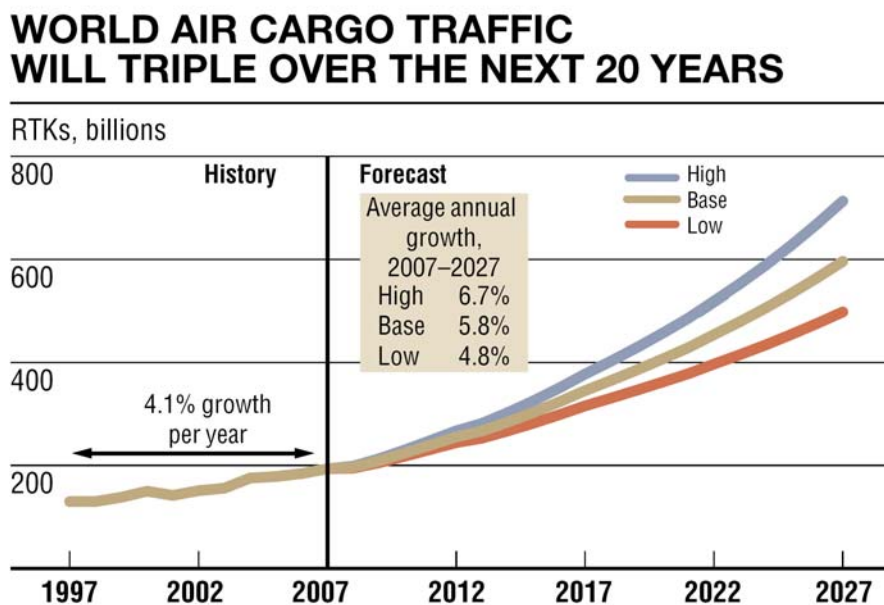


Bild 3.1 Ein jährliches Wachstum in der Luftfracht von rund 5,6% ist zu erwarten (**Boeing 2008**).

Das kontinuierlich steigende Frachtaufkommen stellt die Branche ständig vor neue Herausforderungen. Steigende Ölpreise und Überlegungen Emissionszertifikate einzuführen, erfordern innovative Entwicklungen. Die wichtigsten Fachdisziplinen wie Leichtbau, Antriebstechnik und Aerodynamik werden hierzu ihren Beitrag liefern müssen um die Brücke zwischen der Wirtschaftlichkeit und der Umweltfreundlichkeit zu errichten.

Im Bereich des Leichtbaus soll der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen in der Primärstruktur den Herausforderungen nachkommen. Die Antriebstechnik setzt auf Zweikreistriebwerke mit weiter gesteigertem Nebenstrom- und Gesamtdruckverhältnis. Ein weiterer Favorit sind die so genannten Propfan Triebwerkskonzepte, die optimierte Propellergeometrien für den

Reiseflug forcieren. In der Aerodynamik wird versucht den Nullwiderstand, dass 60-70% des Gesamtwiderstands bestimmt, durch die Reduktion des Reibungswiderstands zu reduzieren.

Durch diese Verbesserungsmaßnahmen ist bis zu 30% Einsparpotenzial beim Kraftstoffverbrauch zu erwarten. Das Senken des Kraftstoffverbrauchs wirkt sich somit positiv auf die Betriebskosten eines Flugzeugs aus und steigert die Wirtschaftlichkeit. Eine Umgestaltung der Flugzeugkonfiguration würde ein sehr viel höheres Einsparpotenzial ermöglichen. Unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen sind jedoch bisher weitgehend ungenutzt geblieben.

3.1.1 Gründe für die Luftfracht

Zeit ist ein sehr kostbares Gut im modernen Wirtschaftsleben, deshalb werden die unterschiedlichsten Produkte per Luftfracht transportiert. Typische Luftfrachtgüter werden durch die Kriterien Zeit und Wert ausgezeichnet. In diesem Zusammenhang zählen kurze Beförderungszeiten über lange Strecken hinweg und der Güterumschlag sowie die zügige Weiterleitung der Luftfracht zu den entscheidenden Vorteilen. Außerdem spielt in diesem Zusammenhang die sehr präzise organisierte Transportkette eine große Wichtigkeit. Güter mit hoher Eilbedürftigkeit wie Hilfsgüter, hochwertige Waren, Ersatzteile, lebende Tiere und Pflanzen, die über große Entfernungen transportiert werden müssen, können per Luftfrachtverkehr sicherer und zeiteffizienter transportiert werden.

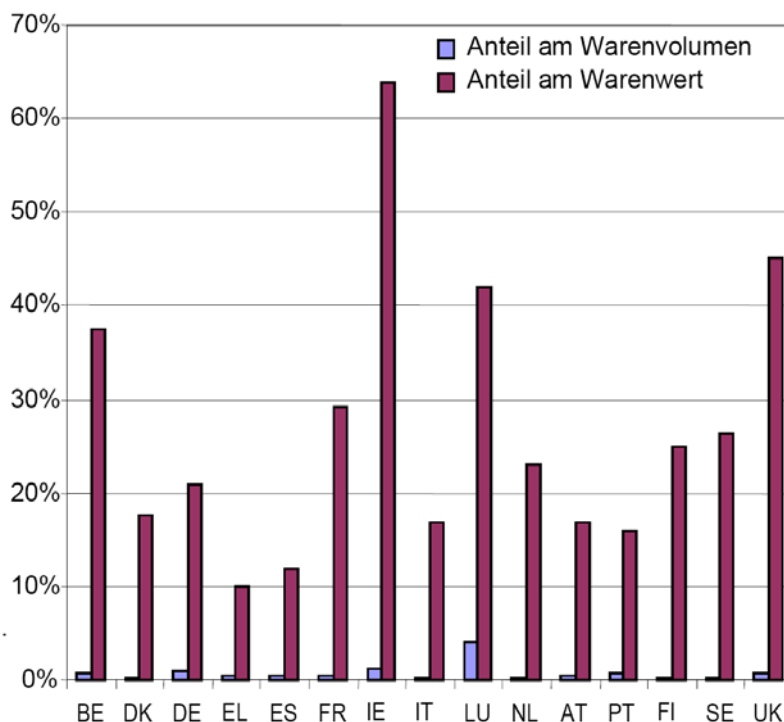


Bild 3.2 Warenvolumen und Warenwert im Vergleich (destatis 2002)

Wie dem **Bild 3.2** zu entnehmen ist, werden nur ca. 2% der Gesamtfrachtaufkommen weltweit per Luftfracht abgewickelt, jedoch ordnet der hohe Wert pro Tonne der Luftfracht einen erheblichen Wert zu. Zudem ist der Luftfrachtverkehr von psychologischen und wirtschaftlichen Einflüssen weitgehend frei. Das zeigte sich in der Ölkrise, dem Terroranschlag sowie der jüngsten Tragödie SARS.

3.1.2 Luftfrachtarten

Abgesehen vom Volumen spielt auch die Zusammensetzung der Fracht, die in 3 Kategorien eingeteilt werden, eine große Rolle. Der erzielbare Umsatz einerseits und der logistische Aufwand andererseits hängen von der Art der Fracht ab. Es wird in Express-, Normal- und Spezialfracht unterschieden.

Die Expressfracht ist Fracht, die einer garantierten, zeitlich bestimmten Dienstleistungskomponente ausgesetzt ist. Typische Expressgüter wie beispielsweise Handys, Laptops etc. müssen aufgrund kurzer Lebenszyklen in der Regel schnell um den Globus transportiert werden. Daher ist keine Transportalternative zur Luftfracht gegeben.

Spezialfracht wie Tiertransporte, leicht verderbliche Waren, die konstante Temperaturen benötigen, sowie stoßempfindliche und diebstahlgefährdete Güter zeichnen diese Art von Fracht aus. Auch für diese Güter sind die Transportalternativen zur Luftfracht gering.

Zu der Normalfracht zählen sämtliche Frachtstücke, bei denen keine Zusatzleistungen vereinbart wurden. Lag der Anteil der Normalfracht 1997 noch bei 82,1%, wird für das Jahr 2009 nur noch ein Anteil von knapp 54% erwartet. (**Stanger 2008**),

Unter Berücksichtigung der vorher genannten Merkmale lassen sich folgende Güter als typisch geeignet für die Luftfracht benennen:

- leicht verderbliche Güter, wie (Blumen, Früchte, Fleisch)
- lebende Tiere
- Zeitungen und Pressematerial
- Medikamente
- Mode- und Saisonartikel
- Hochwertige Waren zur Vermeidung hoher Kapitalbindung während der Transportzeit
- Bruch- und diebstahlgefährdete Waren
- Ersatzteile zur Vermeidung von Produktionsausfall, bzw. hoher Lagerkosten
- Terminalsendungen

3.1.3 Gütetransportmittel

Luftfracht wird sowohl in speziellen Frachtflugzeugen, als auch in Passagierflugzeugen transportiert. In den Passagierflugzeugen wird die Fracht im gleichen Gepäckraum im Unterdeck (Belly) geladen, wo sich auch das Gepäck (Baggage) der Passagiere befindet. Bei den reinen Frachtflugzeugen wird auch das Oberdeck als Frachtraum genutzt. Damit ist auch der Transport großer und schwerer Fracht gewährleistet. Die Fracht wird für den Lufttransport generell in Containern oder Paletten geladen. Die lose Luftfracht (Bulk) wird im Allgemeinen auf der Kurzstrecke in kleineren Frachtflugzeugen, bei denen die Kabine durch entsprechende Netze in mehrere Frachträume (Bulkcompartments) unterteilt wird, transportiert.

Auch solche Flugzeuge, die sich in relativ kurzer Zeit von einem Passagierflugzeug in eine Frachtmaschine umfunktionieren lassen, befinden sich im Einsatz. Diese Art des Transportmittels zahlen sich für solche Fluggesellschaften aus, die keine kontinuierliche oder gleich bleibende Auslastung in der Fracht- und Passagierbeförderung aufzeigen. Das können Saisonabhängige aber auch Flugzyklusabhängige Ungleichgewichte sein z.B. wird mehr Fracht von Asien nach Europa befördert als umgekehrt. Dafür fliegen aber mehr Europäer nach Asien als umgekehrt (**MergeGlobal 2008**).

3.1.4 Frachtfluggesellschaften

Neben Fluggesellschaften, die ausschließlich über eine Passagierflugzeugflotte verfügen, gibt es auch Gesellschaften, die nur bzw. auch reine Frachtflugzeuge besitzen. Zu den größten Frachtfluggesellschaften zählen Atlas Air mit Polar Air und Cargolux. Eine ebenso wichtige Rolle nehmen die sogenannten Integrators, wie FedEx, UPS, DHL, TNT, ein. Ihre Frachterflotten bilden einen wichtigen Bestandteil der Produktion ihrer Tür-zu-Tür Dienstleistungen.

3.1.5 Der Luftfrachtbrief (Airway Bill, AWB)

Nach IATA-Bedingungen und Montrealer Abkommen (MA) sind Luftfrachtbriefe vorgeschrieben. Sie enthält 3 Originale (Nr. 1 für Carrier, 2=Empfänger, 3=Absender) sowie mehrere Kopien für verschiedene Frachtführer. Der Absender (oder im Auftrag der IATA-Agent) erstellt den AWB. Der AWB enthält eine Seriennummer und einen 3-stelligen Code der Airline, die Angaben zur Sendung, zur Versicherung, zu den vereinbarten Behandlungswünschen und der Frachtkosten beinhaltet. Der AWB ist kein Wertpapier, jedoch ein Sperrpapier. Er dient außer als Vertragsdokument und Ablieferungsnachweis auch als Unterlage für Zollabfertigung und als Nachweis einer Transportversicherung.

3.1.6 Frachtflughäfen

Sowohl in Deutschland als auch international wurde in den vergangenen Jahren eine Konzentration auf wenige Frachtflughäfen festgestellt. In Deutschland werden fast 65% aller Luftfrachttransporte am Flughafen Frankfurt am Main abgefertigt. Weltweit konzentrieren sich 50% des Frachtaufkommens auf insgesamt nur 23 Flughäfen. Die größten Frachtflughäfen sind Memphis, Hong Kong sowie Anchorage. Die größten Investitionen in Flughafeninfrastruktur werden in Asien getätigt, da dort der meiste Frachtverkehrswachstum beobachtet wird. Während die Volksrepublik China an den vier größten Flughäfen des Landes die meisten Abfertigung unterzeichnet, entsteht in Dubai der größte Frachtflughafen der Welt (HSH 2007).

3.2 Reine Frachtflugzeuge

Zurzeit befinden sich mehr als 3000 Frachtflugzeuge weltweit im Einsatz. Etwa $\frac{3}{4}$ dieses Bedarfs werden noch mit Hilfe umgerüsteter Frachtflugzeuge gedeckt. Es sind Passagierflugzeuge, die etwa die Hälfte ihrer Lebensdauer erreicht haben. Hierbei wird die Passagierkabine durch eine neue Fußbodenstruktur mit höherer Festigkeit ersetzt. Die Fenster kommen raus und werden durch Paneele geschlossen, so dass weniger Wartungskosten entstehen. Außerdem werden zusätzliche Anpassungen im Bordsystem vorgenommen.

Welches Flugzeug für welche Art von Fracht gewählt wird, hängt u.a. auch von der Reichweite des Flugzeuges ab. Die Unterscheidung erfolgt in Kurz-, Mittel und Langstrecken Frachtflugzeuge, die mit steigender Flugzeuggröße auch eine Erhöhung der Frachtkapazität erlauben. Das gilt für fabrikneue sowie auch umgerüstete Frachtflugzeuge und kann dem **Bild 3.3** entnommen werden.

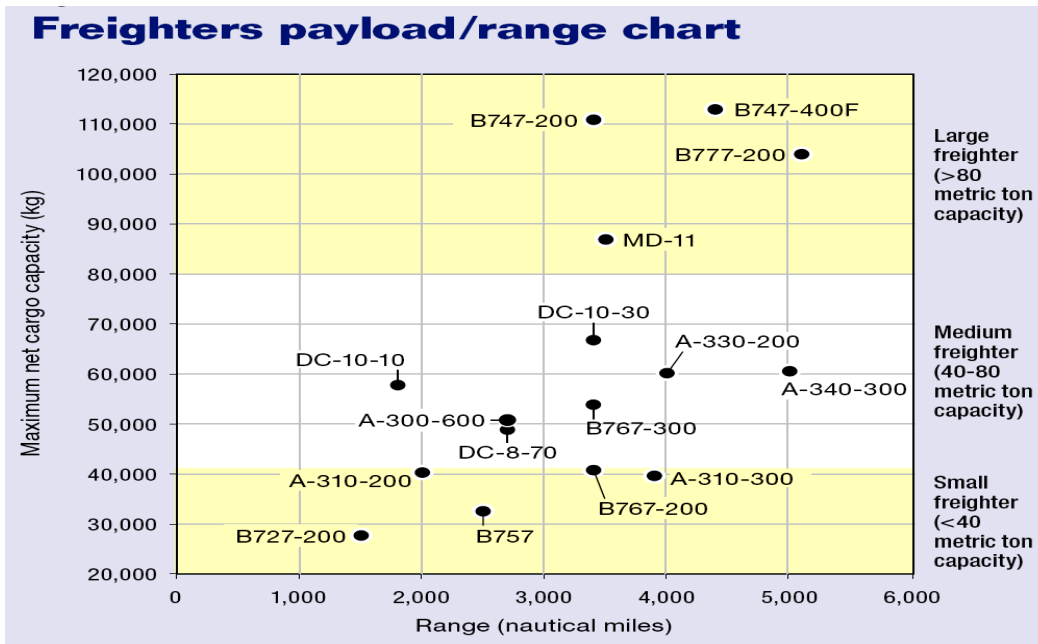


Bild 3.3 Frachtflugzeuge im Reichweiten-Diagramm (MergeGlobal 2008)

Bei aller Wartung ist der Flugzeugrumpf anfällig für Materialermüdung – bedingt durch den ständigen Wechsel des Kabineninnendrucks, der den Rumpf bei jedem Flug um mehrere Zentimeter dehnt. Weiterhin fördert der regelmäßige Temperaturunterschied von mehr als 100°C an den Außenflächen die Materialermüdung. Wartungsarbeiten werden an der Flugzeugzelle und den Triebwerken in regelmäßigen Abständen durchgeführt, so dass sie Jahrelang noch sicher an der Luft bleiben. Aber gerade bei umgerüsteten Frachtflugzeugen, lohnt sich dieser Aufwand irgendwann nicht mehr, zusätzlich zu den oben genannten Gründen liegt auch der Kraftstoffverbrauch höher. Wann es sich auszahlen würde in fabrikneue Frachtflugzeuge zu investieren, kann dem **Bild 3.4** entnommen werden. Es wird an der Auslastung und den Kraftstoffkosten festgemacht.

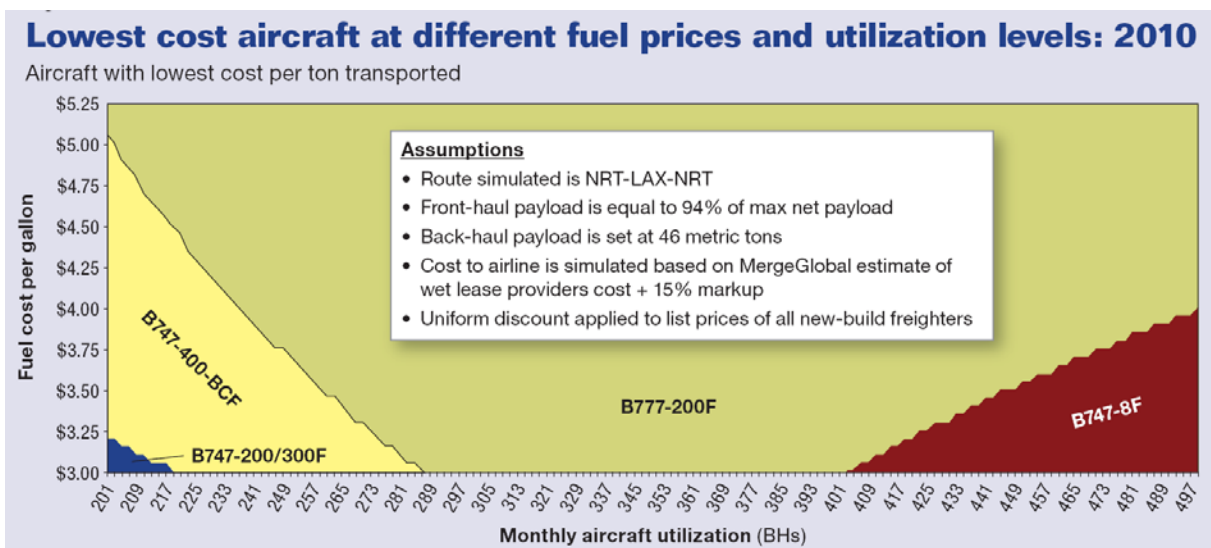


Bild 3.4 Kraftstoffkosten über Auslastung (MergeGlobal 2008)

4 Nachhaltigkeit im Luftverkehr

4.1 Ausgangslage

Der Luftverkehr ist aus dem modernen Mobilitätssystem nicht mehr wegzudenken. Immer mehr Menschen und Güter werden per Luftverkehr befördert. Das verursacht jedoch Veränderungen im oberen Luftraum der Atmosphäre durch Emissionen. In Bezug auf den globalen Treibhauseffekt ist wie bei allen anthropogenen Emissionen der Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂), Stickoxiden (NO_x), und Wasserdampf (H₂O) von Bedeutung. Ein weiterer Bereich, in dem der Luftverkehr Einfluss auf die Umwelt hat, ist der Nahbereich von Flughäfen. Im Vordergrund steht die Fluglärmbelästigung; aber unmittelbar an Flughäfen kann auch der Schadstoffeintrag aus Flugzeugtriebwerken eine Rolle spielen. Außerdem sind die Umweltbelastungen durch den Bau und Betrieb von Flughäfen und den damit verbundenen Flächenverbrauch und -versiegelung, Störung der Bodenfunktionen, Wertminderung der Wohnbauflächen sowie Grundwasserbelastung durch Schadstoffe bei der Enteisung von Piste und Flugzeug, nicht zu unterschätzen.

Ein ideales Flugzeug sollte also möglichst keinen negativen Einfluss auf das Erdklima haben, keine lokalen Luftbelastungen erzeugen und möglichst nicht hörbar sein.

4.2 Schadstoffemissionen

Der Flugverkehr verursacht folgende Emissionen und atmosphärische Prozesse, die klimawirksam sind (**Mäder 2008**):

- Emissionen von CO₂ (erwärmender Effekt)
- Bildung des treibhauswirksamen Gases Ozon infolge von NO_x-Emissionen
- Minderung der atmosphärischen Konzentrationen des treibhauswirksamen Gases Methan, auch infolge der NO_x-Emissionen (abkühlender Effekt)
- Emission des treibhauswirksamen Gases Wasserdampf (erwärmender Effekt)
- Reflektion der Sonnenstrahlung durch die emittierten Sulfataerosole (abkühlender Effekt)
- Absorption der Sonnenstrahlung durch die emittierten Russpartikel (erwärmender Effekt)
- Bildung von Kondensstreifen (erwärmender Effekt)
- Bildung zusätzlicher Zirruswolken (hohe, aus Eisparkeln bestehende Wolken)

Eine relative Mengenangabe der emittierten Schadstoffe können der **Bild 4.1** entnommen werden. Deutlich zu sehen ist, dass das Stickstoffoxid mit 14 g/kg Kerosin einen erheblichen Anteil im gesamten Schadstoffausstoß ausmacht. Hierzu können auch die Angaben von **Tabelle 4.1** zum Vergleich herangezogen werden.

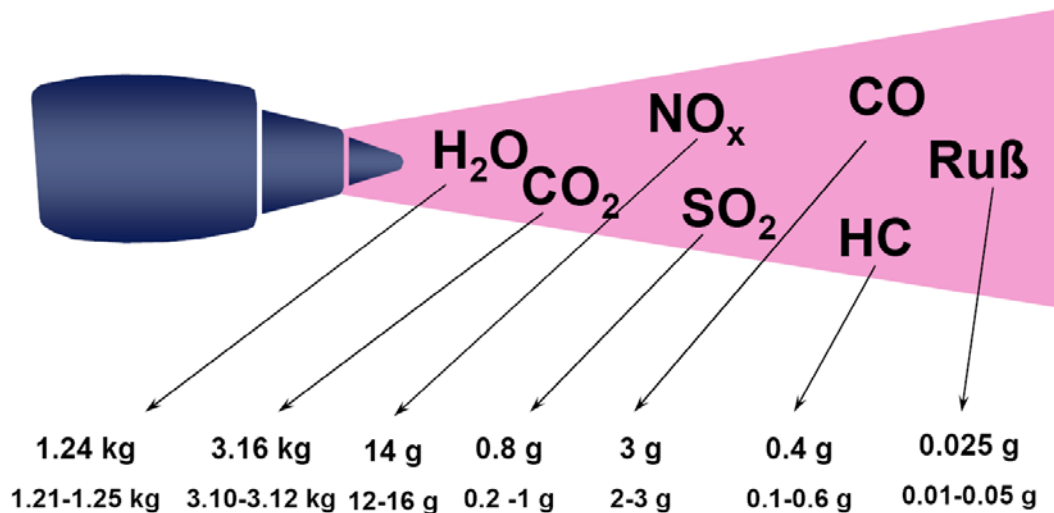


Bild 4.1 Mittlere Emissionen aus Triebwerken im Flug pro Kg Kerosin (UBA 2008)

4.2.1 Auswirkungen auf die Umwelt

Verglichen mit den früheren Emissionswerten, sind heute durchaus Fortschritte zu beobachten. Diese reichen nicht, da der Luftverkehr ständig wächst und somit auch der Treibstoffverbrauch. Bis ein Ersatztreibstoff gegenwärtig ist, sind die Schadstoffemissionen stark eingebunden, wenn es um die Umwelt geht. Zu langfristigen Maßnahmen folgt später mehr.

Nach dem **UBA 2008** sind die Auswirkungen der verschiedenen Schadstoffe schwer differenzierbar. Hier spielen die Wechselwirkungen zwischen den Parametern eine sehr große Rolle. Zunächst sind Emissionswerte in den verschiedenen Flugphasen, die im **Bild 4.2** zu sehen sind, sehr unterschiedlich. Dieser Unterschied könnte bei schadstoffarmen Triebwerken sicher außer Acht gelassen werden, wenn da nicht die Abhängigkeiten zwischen den Schadstoffen existierten. Denn weniger Schadstoffausstoß heißt nicht automatisch weniger Ausstoß von Stickoxid. Hinzu kommt, dass sparsame Triebwerke für mehr klimawirksame Kondensstreifen führen. Um die Kondensstreifenbildung zu umgehen, wäre die Wahl einer anderen Flughöhe notwendig. Das wiederum führt dazu, dass die optimal ausgelegte Flughöhe für die Treibstoffeffizienz verlassen wird. Da wäre noch die Wechselwirkung zwischen Lärm- und CO₂ Emissionen. Um Lärm zu reduzieren, werden verschiedene aerodynamische Maßnahmen wie Verkleidungen an den Fahrwerken oder größere Flügelflächen notwendig, das wiederum

führt zu einer Erhöhung des Flugzeuggewichts was mit einem Mehrverbrauch an Treibstoff zusammenhängt.

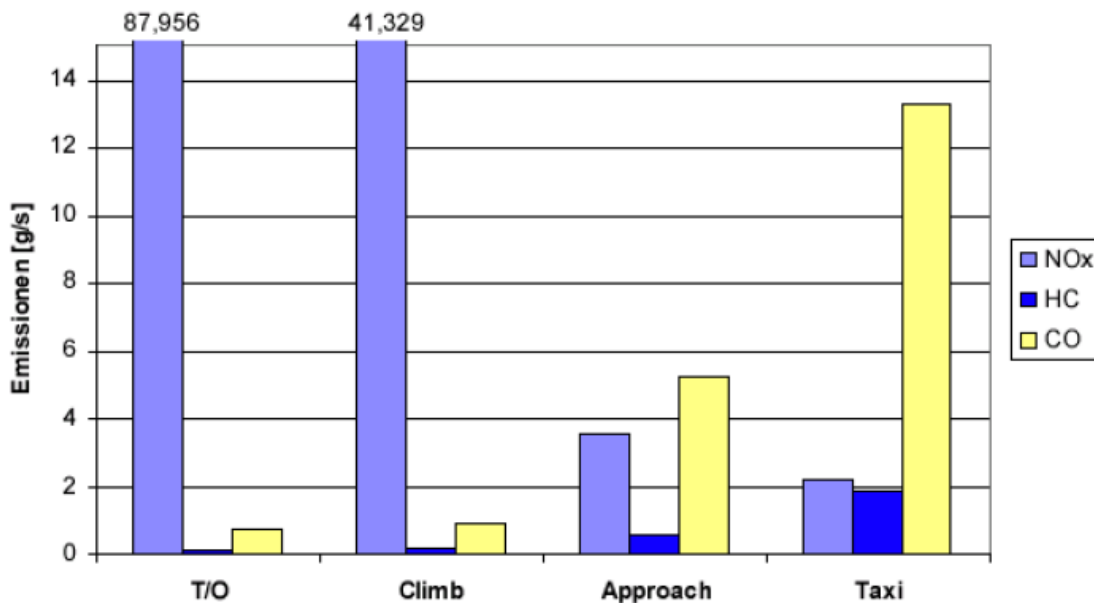


Bild 4.2 Emissionsmassenströme in Abhängigkeit von der Flugphase (Mainzer 2007)

Kohlendioxid (CO_2) ist aufgrund der großen ausgestoßenen Mengen und seiner langen Verweildauer in der Atmosphäre das wichtigste Treibhausgas. Ein Anstieg der Konzentrationen hat einen gut bekannten und direkten Effekt, der zur Erwärmung der Erdoberfläche führt.

Stickoxide (NO_x) wirken sich in zweifacher Hinsicht indirekt auf das Klima aus. Sie führen unter Einwirkung von Sonnenlicht zur Ozonbildung und bewirken eine Verringerung der atmosphärischen Konzentration von Methan in der Umwelt. Sowohl Ozon als auch Methan sind starke Treibhausgase. Im Endeffekt setzt sich die Wirkung von Ozon gegenüber dem Methan durch, und es kommt zur Erwärmung der Erde.

Wasserdämpfe, die von den Flugzeugen ausgestoßen werden, haben einen direkten Treibhausgaseffekt, der jedoch nur geringe Wirkung hat, da er durch Niederschläge rasch wieder aufgehoben wird. Die in großer Höhe ausgestoßenen Wasserdämpfe führen jedoch oft zur Bildung von Kondensstreifen, die zur Erwärmung der Erdoberfläche beitragen können. Auch können sich aus diesen Kondensstreifen Zirruswolken bilden (Wolken aus Eiskristallen). Diese stehen in dem Verdacht, einen erheblichen Erwärmungseffekt zu haben, was jedoch noch unbewiesen ist.

Sulfat- und Russpartikel haben verglichen mit den anderen Emissionen von Luftfahrzeugen wesentlich geringere direkte Effekte. Russ absorbiert Wärme und trägt zur Erwärmung bei;

Sulfatpartikel reflektieren Strahlung und haben geringfügige abkühlende Wirkung. Sie können außerdem zur Bildung von Wolken beitragen und deren Eigenschaften beeinflussen.

Tabelle 4.1 Masse und Auswirkungen der Verbrennungsprodukte von 1kg Kerosin (Lehmann 2008)

Verbrennungsprodukt	Auswirkungen
3,15 kg Kohlendioxid	Toxisch neutral, Wetterbeeinflussung
1,24 kg Wasser(dampf)	Toxisch neutral, Eis- und Wolkenbildung (Zirren), Nebel
6-20 g Stickoxide	Erzeuger photochemischen Smogs, führt in Reiseflughöhe zum Aufbau von Ozon
0,7-2,5g Kohlenmonoxid	Giftig, reduziert Sauerstoffkapazität im Blut
0,1-0,7 g UHC	Von toxisch neutral bis giftig, je nach Zusammensetzung
0,02 g Ruß	Sichtminderung, Träger von Giftstoffen, Kondensationskerne
Schwefeloxide	Vernachlässigbare Konzentration, „Saurer Regen“

4.2.2 Maßnahmen zur Schadstoffreduktion

Um eine Optimierung zu erzielen, werden sehr viele verschiedene Ansätze verfolgt. Auf nationaler Ebene beispielsweise wird durch viele verschiedene Forschungsarbeiten versucht, eine Reduktion der Emissionen zu erzielen. Dabei soll eine bestmögliche Lösung die Widersprüche beseitigen: Verbrauchsoptimierte Triebwerke führen zu mehr Kondensstreifen, noch bessere Verbrennung produziert mehr Stickoxide und neue Triebwerke mit Rotoren führen zu mehr Lärm.

Durch die lange Entwicklungs-, Lebensdauer von Flugzeugen und den aufwendigen Nachweisen für die Betriebssicherheit, sind kurzfristig keine Umsetzung der Ziel zu erseh. Die großen Luftfahrtgesellschaften ziehen dafür gemeinsam an einem Strang, um eine schnellstmögliche Effizienzsteigerung zu beobachten. Das Vier-Säulen-Programm soll das ganze Spektrum praktikabler Maßnahmen abdecken (enviro.aero 2009).

4.2.2.1 Technische Maßnahmen

Die Luftfahrtindustrie hat mithilfe technischer Neuerungen den spezifischen Kerosinverbrauch und die CO₂-Emissionen seit 1970 bereits um 70 Prozent reduziert. Wenn technische Innovationen bei Flugzeughüllen, Aerodynamik, Material, Triebwerken und Elektronik verstärkt gefördert und umgesetzt werden, sind künftig weitere deutliche Reduktionen möglich.

4.2.2.2 Verbesserte Infrastrukturen

Einsparpotenziale eröffnen die Infrastruktur-Verbesserungen am Boden und in der Luft. Die größten Möglichkeiten bieten dabei eine optimierte Nutzung der Lufträume und ein bedarfsgerechter Ausbau der Flughafeninfrastruktur. Die Deutsche Flugsicherung (DFS) hat in den letzten Jahren zwar in vorbildlicher Weise durch direkte Flugführung ihre Effizienz verbessert, dies ist aber keineswegs in allen Ländern Europas der Fall. Die hoch fragmentierte, ineffektive europäische Kontrolle des Luftraums führt bei den Airlines nicht nur zu Mehrkosten, sondern auch zu zusätzlichen CO₂-Emissionen. Projekte wie Clean Sky und SESAR werden den einem Flickenteppich gleichende, derzeitige Netz aus 35 Flugsicherungsorganisationen (**Bild 4.3**), das sich in erster Linie an nationalen Grenzen orientiert durch "funktionelle Luftraumblöcke" auf der Basis operativer Maßnahmen ersetzen. Ein Ersparnis von 12% an CO₂-Ausstoß sind die genannten Richtwerte.



Bild 4.3 Fragmentierter Luftraum Europa (LH 2008)

Nach langjährigen Verhandlungen haben Europa und Amerika am 30. April 2007 das Open-Skies-Abkommen unterzeichnet – und damit die Weichen für mehr Wettbewerb im transatlantischen Luftraum und einen gleichberechtigten Marktzugang für europäische und US-

Fluggesellschaften gestellt. Das Open-Skies-Abkommen, das am 30. März 2008 in Kraft getreten ist, sieht vor, dass europäische und US-amerikanische Fluggesellschaften beliebige Strecken zwischen den beiden Wirtschaftsräumen bedienen und anschließend in Drittländer weiterfliegen dürfen.

4.2.2.3 Operative Maßnahmen

Der Einsatz effizienterer Flugzeuggrößen, das Fliegen von optimalen Flugrouten und Flugeschwindigkeiten sowie verbesserte Prozesse am Boden gehören zu den operativen Maßnahmen. Durch neue Verfahren zur Triebwerkswäsche können deutliche Effizienzsteigerungen erreicht werden: Hier besteht ein Einsparpotenzial von 0,5 Prozent auf den Gesamtverbrauch an Kerosin. Zusätzlich kann eine exaktere Kraftstoffbedarfsermittlung und entsprechende Betankung helfen ebenfalls CO₂-Emissionen jährlich einzusparen. Insbesondere durch Verkürzung der Anflugrouten und Abbau der Warteschleifen.

4.2.2.4 Ökonomische Maßnahmen

Um den Erhalt eines fairen Wettbewerbs, der die europäische Luftfahrtbranche nicht benachteiligt, sollten die im Folgenden genannten Maßnahmen global umgesetzt werden

Deutschland ist nach Schweden, der Schweiz und Großbritannien das vierte Land in Europa, das emissionsgebundene Start- und Landegebühren erhebt. Das von der Initiative „Luftverkehr für Deutschland“ in Abstimmung mit dem Bundesverkehrsministerium entwickelte Pilotprojekt veranlasste, Flugzeuge ab Januar 2008 mit drei Euro je Emissionswert zu belegen. Der Emissionswert beruht vor allem auf der ausgestoßenen Menge an Stickoxiden (NO_x), berücksichtigt aber auch unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC) für einen LTO-Cyclus. Dieser wird nach **ECAC 2009** mit folgender Formel ermittelt:

$$NO_{x, \text{Luftfahrzeug}} [kg] = \frac{n_{\text{Triebwerke}} \cdot \sum_{\text{MODE}} [\text{Zeit}(s) \cdot \text{Treibstoffverbrauch}(kg / s) \cdot \text{Emissionsfaktor}(g / kg)]}{1000}$$

Die dafür notwendigen Werte sind dem **Anhang B** zu entnehmen. Da es sich bei der Luftfahrtindustrie um eine von Natur aus international operierende Branche handelt, sind auch Kraftstoffsteuern im Allgemeinen kein effektives Instrument zur Verringerung der von ihr verursachten Emissionen. Da Kraftstoffsteuern in naher Zukunft nicht erhoben werden können, wird der Emissionshandel ein entscheidendes Instrument darstellen. Das Kyoto-Protokoll sieht den Handel mit Emissionsrechten vor, d.h. Länder, die Ausstöße über das ihnen zuste-

hende Maß verursachen, können Emissionsrechte von Ländern kaufen, die unter dem ihnen zustehenden Maß bleiben. Die Voraussetzung für diese Lösung ist eine bindende Übereinkunft zwischen den Nationen über die Reduktionsziele. Da dies mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls erreicht ist, wird sich der Emissionshandel vermutlich rasch entwickeln.

4.3 Lärmemissionen

Luftverkehr schädigt nicht nur das Klima und verbraucht Ressourcen, sondern beeinträchtigt mit Lärm und Schadstoffemissionen die Gesundheit, das Ruhebedürfnis und die Lebensqualität vieler Menschen in der Nähe von Flughäfen. Vor allem, wenn Flugzeuge starten und landen, entsteht Lärm. Das lässt sich nicht vermeiden, aber auf ein verträgliches Maß reduzieren. Einerseits wird versucht im Rahmen der Flottenmodernisierung besonders lärmarme Maschinen zu erwerben, andererseits arbeiten die Fluglinie kontinuierlich an der Entwicklung von Maßnahmen, die den Lärm der aktuellen Flotte reduzieren.

4.3.1 Lärmstärke

Um dem Lautstärkeempfinden durch das menschliche Gehör näherungsweise gerecht zu werden, wurde für akustische Messungen ein logarithmischer Maßstab gewählt. Die Maßeinheit ist das Dezibel (dB). Definitionsgemäß ist der Hörschwelle der Wert Null dB zugeordnet, der zehnfach stärkeren Schallintensität der Wert 10 dB, der hundertfachen 20 dB usw. Die Schmerzgrenze liegt bei etwa 130 dB. Anhand von **Bild 4.4** wird gezeigt, dass Flugzeuglärm ziemlich nah an der Schmerzschwelle liegt.

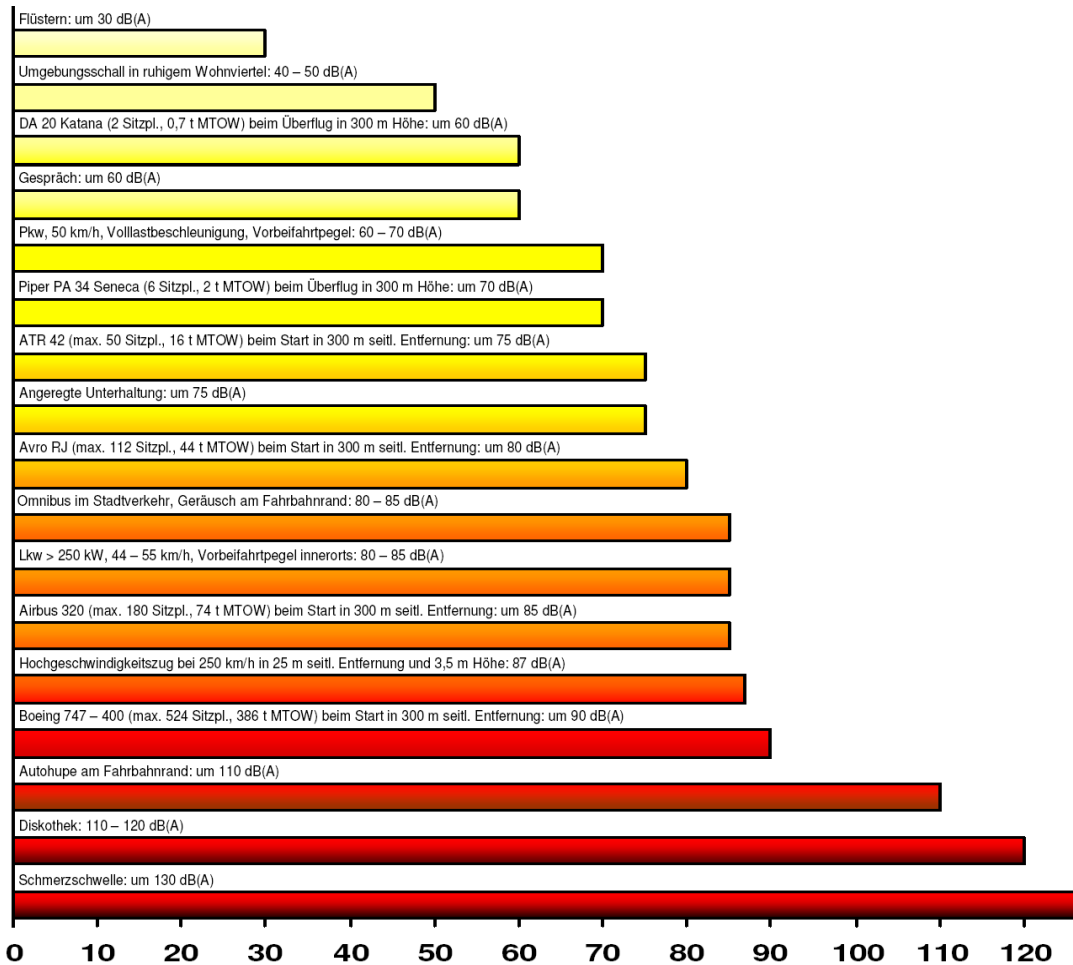


Bild 4.4 Geräusche und ihre Einzelschallpegel, (ADV 2008)

4.3.2 Lärmmessung

Das Lärmzulassungsverfahren sieht für den Startüberflug, die seitliche Lärmabstrahlung beim Start und den Landeanflug jeweils einen eigenen Messpunkt vor. Beim Startüberflug befindet sich der Lärmmesspunkt, in einer Entfernung von 6.500m vom Startrollpunkt auf der verlängerten Mittellinie der Startbahn und der Landeanflug-Messpunkt 2.000 m vor der Landebahnschwelle (**Bild 4.5**). Der seitliche Lärmmesspunkt liegt dort, wo während des Starts auf einer Linie im Abstand von 450m parallel zur Startbahnachse der Lärmpegel des Flugzeugs ein Maximum erreicht wird. Speziell für die Lärmzulassung großer Flugzeuge wurde international als Messgröße der sogenannte Lärmstörpegel (Effective Perceived Noise Level) eingeführt. Seine Einheit ist das EPNdB. Hierbei werden der zeitliche Verlauf des Geräusches sowie die Intensität besonders hervortretender Frequenzen berücksichtigt. Für den Vergleich von Werten in EPNdB und dB(A) kann vereinfacht als Faustformel $EPNdB = dB(A) + 13$ gesetzt werden.

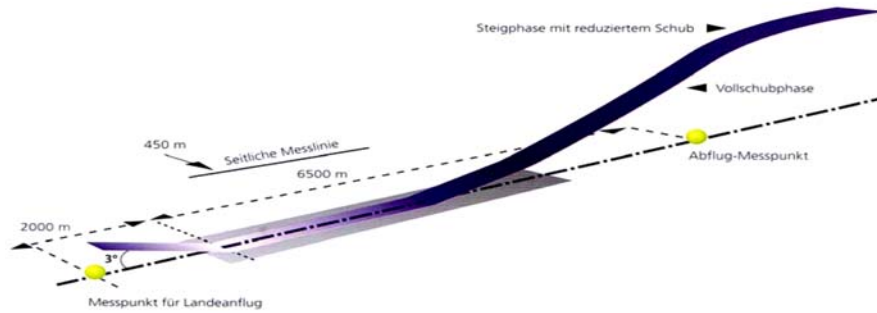


Bild 4.5 Anordnungen der Lärmesspunkte für die Lärmzertifizierung gemäß ICAO-Anhang 16, Kapitel 3 bzw. LSL, Kapitel II (ADV 2008)

4.3.3 Richtlinien

Flugzeug- und Triebwerkshersteller haben schon früh erkannt, **Bild 4.6**, das neben Leistungsfähigkeit und Treibstoffeffizienz auch die Lärmwerte ihrer Produkte ein wichtiges Verkaufsargument sind. Die zulässigen Geräuschemissionen von Luftfahrzeugen sind international im Anhang 16, Band I zum Luftfahrtabkommen der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation ICAO geregelt. So haben die ICAO-Empfehlungen eine so weite Verbreitung, dass sie faktisch eine weltweit gültige Zulassungsnorm für neu entwickelte Flugzeuge darstellen. Diese Lärmvorschrift enthält detaillierte Bestimmungen für die Geräuschemissionsmessung und die Auswertung der Messergebnisse sowie für die Erteilung von Lärmzulassungen. Der ICAO-Anhang 16 ist in verschiedene Kapitel untergliedert, die sich mit den Lärmzulassungsvorschriften und Lärmgrenzwerten für unterschiedliche Luftfahrzeuge befassen. Aktuell ist Kapitel 4, der 10dB unter der Summe der Grenzwerte in Kapitel 3 liegt, seit 2001 rechtsgültig. Die Werte für verschiedene Flugzeugtypen sind im **Anhang A** zu finden.

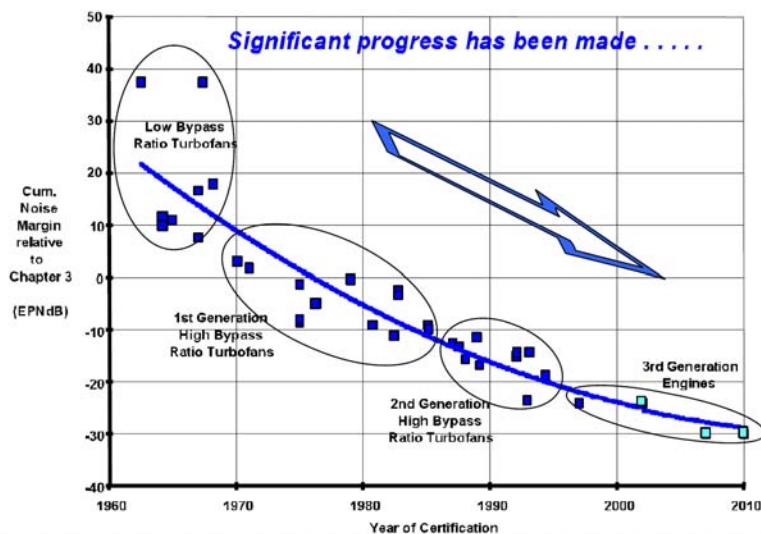


Bild 4.6 Die Triebwerke sind leiser geworden (CTOL 2007)

Wie das **Bild 4.7** veranschaulicht, sind die von deutschen Luftfahrzeugen einzuhaltenden Lärmgrenzwerte in den vom Luftfahrtbundesamt herausgegebenen Lärmschutzforderungen für Luftfahrzeuge (LSL) definiert. Mit den LSL wurden Bestimmungen, Hinweise und Verfahren des ICAO-Anhangs 16 in deutsches Recht überführt. Somit erhalten die Richtlinien und Empfehlungen auf internationaler Ebene (SARPS) der 16 Annexe des Chicagoer Abkommen nur dann in einem Vertragsstaat Rechtswirkung, wenn sie in nationale Gesetze überführt werden.

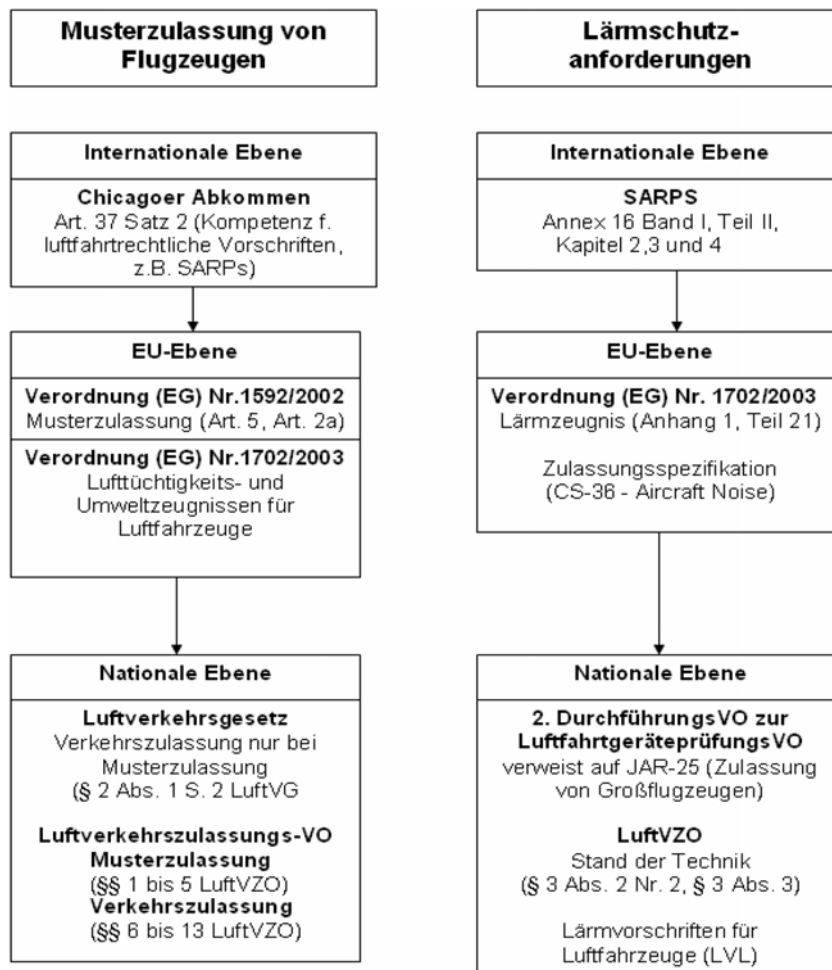


Bild 4.7 Überblick über die anzuwendenden Regelwerke für die Musterzulassung und die Lärmschutzanforderungen (UBA 2008)

Zusätzlich dienen Fluglärmgesetze (FluLärmG) dazu, in der Umgebung von Flugplätzen bauliche Nutzungsbeschränkungen und baulichen Schallschutz zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Fluglärm sicherzustellen. Dadurch werden Lärmschutzbereiche in zwei Tag- und eine Nachtschutzzone unterteilt. Das Fluglärmgesetz enthält dabei keine Immissionsgrenzwerte. Es bestehen lediglich Regelungen über Beschränkungen der baulichen Nutzung, über Auf-

wendungserstattungen für bauliche Schallschutzmaßnahmen sowie Begründungen für Ersatzansprüche von Grundstückseigentümern gegen den Flugplatzhalter.

Der Lärmschutzbereich (**DEGA 2008**) für bestehende zivile Flughäfen umfasst tagsüber das Gebiet außerhalb des Flughafengeländes, in dem der durch Fluglärm verursachte Dauerschallpegel mehr als 60 dB(A) beträgt. Dieser Bereich wird in zwei Schutzzonen unterteilt, wobei die Tag-Schutzzone I das Gebiet umfasst, in dem der äquivalente Dauerschallpegel über 65 dB(A) liegt und die Tag-Schutzzone II das übrige Gebiet des Lärmschutzbereiches darstellt. Die Nacht-Schutzzone umfasst dabei die Bereiche, in denen der äquivalente Dauerschallpegel über 55 dB(A) beträgt.

4.4 Alternativer Treibstoff

Steigende Ölpreise eröffnen Chancen für Treibstoff-Alternativen, die nicht auf Erdöl basieren. Derzeit gibt es mehrere Optionen, Kerosin teilweise oder vollständig zu ersetzen. Jede einzelne hat ihre Vor- und Nachteile und soll hier kurz diskutiert werden. Flugsicherheitstechnische Aspekte wie die Verbrennungsleistung, die Verträglichkeit der Materialien, die Handhabung, die Fließfähigkeit bei Kälte, die Verdunstung und Zerstäubung, die Möglichkeit zum Neustart der Triebwerke während des Flugs und die Verträglichkeit von Zusatzstoffen sowie die Lagerung und Transport erschweren deren Einsatz.

4.4.1 Ölsande

Ein großer Hoffnungsträger unter den unkonventionellen Ölen sind die Ölsande, deren größte Lagerstätten sich in Kanada und Venezuela befinden. Sie können zu synthetischem Rohöl weiterverarbeitet werden. Allerdings ist ein großer Energieaufwand nötig. Die Produktion selbst erfordert bereits die Hälfte der gewonnenen Energie, wohingegen beim konventionellen Öl die Energieeffizienz mehr als 90 Prozent beträgt.

4.4.2 BTL

Als Grundstoff für den synthetischen Kraftstoff aus Biomasse (BTL, Biomass to Liquid) eignet sich jede Art von Energiepflanzen wie Raps und Zuckerrohr sowie Stroh und Restholz und Algen. So sind BTL-Kraftstoffe frei von Schwefel und nahezu frei von Aromaten. Im Weiteren wird bei der Verbrennung nur jene Menge CO₂ freigesetzt, die die Pflanzen für ihren Wachstumsprozess zuvor aus der Atmosphäre absorbiert haben. Die gesamte Klimabilanz

von Biokraftstoffen hängt allerdings davon ab, wie viele Emissionen bei Anbau, Verarbeitung und Transport erzeugt werden. BTL gehört zu den sogenannten Biokraftstoffen der zweiten Generation. Im Vergleich zu Bioethanol, Biodiesel und Pflanzöl, den Biokraftstoffen der ersten Generation, schöpfen sie das Energiepotenzial der eingesetzten Pflanzen erheblich effizienter aus, da nicht nur einzelne öl-, zucker- oder stärkehaltige Teile zur Kraftstoffproduktion verwendet werden, sondern die gesamte Pflanze.

4.4.3 GTL

Eine wachsende Bedeutung gewinnen synthetische Kraftstoffe auf Erdgas-Basis (GTL, Gas to Liquid). Sie werden auf die gleiche Weise synthetisiert wie BTL. Mineralölkonzernen und Ländern mit hohen Gasvorkommen gibt diese Technologie eine Lösung für das Transportproblem beim Erdgas in die Hand. GTL ist eine Alternative zur Erdgas-Verflüssigung durch Abkühlung (LNG, Liquefied Natural Gas). Ein deutlicher Nachteil von GTL im Vergleich zu BTL sind zudem die CO₂-Emissionen, da es sich nach wie vor um einen fossilen Energieträger und nicht um einen nachwachsenden Rohstoff handelt.

4.4.4 LNG und Biogas

Große Anforderungen stellt der Einsatz von flüssigem Erdgas (LNG) an den Flugzeugentwurf. Der Treibstoff muss gekühlt werden und besitzt bezogen auf das Gewicht nicht einmal den halben Energiegehalt von Wasserstoff. Andererseits ist der Energiegehalt aber höher als der von herkömmlichem Kerosin. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) kommt allerdings zu dem Ergebnis, dass Methan (LNG oder Biogas) insgesamt gesehen energetisch schlechter abschneidet als Kerosin. Daraufhin hat der vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gegründeter zwischenstaatlicher Ausschuss diese Option verworfen.

4.4.5 Wasserstoff

Es hat viele Versuche gegeben, Wasserstoff als Treibstoff in Strahltriebwerken einzusetzen (Tupolev TU154 Ende der 1980er-Jahre, die mit flüssigem Wasserstoff und flüssigem Erdgas betankt wurde). Größter Vorteil von Wasserstoff ist der auf das Gewicht bezogene hohe Energiegehalt: Bei gleichem Energiegehalt ist Wasserstoff 2,8-mal leichter als Kerosin – allerdings auch 4,1-mal voluminöser. Zudem benötigt Wasserstoff eine Kühlung auf -253 °C. Für

die Treibstoffspeicherung stellt es eine große Herausforderung dar, denn die gesamte Flugzeugarchitektur wäre entsprechend zu ändern.

Sollte Wasserstoff als Kraftstoff zum Einsatz kommen, müsste zudem eine komplett neue Versorgungsinfrastruktur aufgebaut werden. Betankungsanlagen, Hydrantensysteme, Pipelines und Vorratslager an den Flughäfen sind zurzeit optimal auf den Einsatz des erdölbasierten Kerosins eingestellt. Sollte ein alternativer Kraftstoff wie Wasserstoff einen Systemwechsel erfordern, müssten in einer Übergangsphase an jedem Flughafen weltweit parallele Versorgungsinfrastrukturen für den gewohnten und den neuen Treibstoff bereitgestellt werden. Die lange Lebensdauer von Flugzeugen würde zu entsprechend langen Übergangsphasen führen. Letztlich würde es sich aus diesen Gründen negativ auf die Betriebskosten auswirken.

Nicht umsonst fiel bei den Expertengesprächen der Satz: „Der letzte Tropfen Öl wird im Flugzeug verbraucht.“

4.5 Ziele 2020

Ziele und Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen erfordern technologische Entwicklungen an Triebwerk und Zelle sowie die Einführung lärmärmer An- und Abflugverfahren und können zum erheblichen Fortschritt führen. Vor acht Jahren haben die europäische Luftfahrtindustrie, Flughäfen, Airlines und Forschungseinrichtungen gemeinsam mit mehreren Regierungen das Advisory Council für Aeronautics Research (ACARE) gegründet. Bis zum Jahr 2020 (**Bild 4.8**), so das ambitionierte Ziel der Organisation, sollen Flugzeuge entwickelt werden, die 50% weniger Kohlendioxid ausstoßen als die Jets der Jahrtausendwende. Das von ACARE aufgezeigte Potenzial – Lärmreduzierung um 50% bis 2020 – muss insbesondere in den nächsten Jahren für die anstehende Nachfolge der Flugzeugklasse A320/Boeing737 umgesetzt werden. Somit leisten kontinuierliche Modernisierungen der im Betrieb befindlichen Flotten durch die Fluggesellschaften einen zentralen Beitrag zur Reduktion des Fluglärms und Schadstoffs.

Etablierung neuer Standards in der zivilen Luftfahrt durch ACARE

(Advisory Council of Aeronautical Research in Europe)

Selbstverpflichtung der Europäischen Luftfahrtindustrie mit visionären Zielen für 2020:

- | | | |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Lärm Reduktion um die Hälfte (auf kumulativer Basis) <input type="checkbox"/> CO₂ / Brennstoff-Verbrauch Reduktion um die Hälfte, davon <ul style="list-style-type: none"> - 15-20% Triebwerk - 20-25% Zelle - 5-10% Luftverkehrs Management <input type="checkbox"/> NO_x Reduktion um 80% <input type="checkbox"/> substantielle Reduktion in den operativen Kosten <input type="checkbox"/> fünffache Reduktion der Unfallraten <input type="checkbox"/> Halbierung der Zeit zum Markteintritt <input type="checkbox"/> verbesserte Synergien zwischen zivil and militärisch | <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 100px; width: 100%;"></div> | <p>Fokus auf:</p> <ul style="list-style-type: none"> - neue Triebwerkskonzepte - Kreisprozeßoptimierung - Technologie Einsatz |
| | <div style="border-top: 1px dashed black; border-bottom: 1px dashed black; height: 100px; width: 100%;"></div> | <p>Fokus auf:</p> <p>Prozess-Verbesserungen</p> |

→ Neue Technologien und Triebwerkskonzepte zur Erfüllung der Ziele erforderlich!

Bild 4.8 Ziele für die Luftfahrt von ACARE (Lehmann 2008)

4.6 Ziele 2050

Damit der Luftverkehr „grün“ werden kann, wird neben evolutionären- auch revolutionäre Maßnahmen gefordert (Aerospace International, Ausgabe März 2009, S. 13)

- **Biokraftstoffe** zeigen schon viel versprechende Entwicklungen. In der 3. Generation der Entwicklung wird das schnelle Wachstum der Algen genutzt, um einen Ersatzkraftstoff der Zukunft zu bieten.
- **Hochentwickelte Verbundwerkstoffe** werden leichter und fester sein als die heutigen Verbunde. Bis dahin sollen die jetzigen Kenntnisse erweitert und verstärkt werden.
- **Brennstoffelemente** wie Wasserstoffkraftstoffe werden die APU mit Energie speisen und somit die In Flight Entertainment IFE Systeme, Küche usw. mit „grüner“ Energie versorgen.
- **Kabellose Kabinen** werden ebenfalls zu einer leichteren Konstruktion führen.
- **Recycling-Initiativen** versprechen einen 85%igen Rückgewinn der Flugzeugkomponenten sowie Materialien. 2050 soll es sich um 10% steigern.
- **Getriebefan Triebwerke** befinden sich ebenso in der Testphase und könnten mehr Effizienz nach sich ziehen als prognostiziert. Ein Kraftstoffersparnis von mehr als 20% wird erwartet.

- **Nurflügler Flugzeuge, BWB**, gehören längs nicht mehr der Vergangenheit an. Mittelfristig wird eine Optimierung 20-30% erwartet gegenüber den konventionellen Flugzeugmustern.
- **Hochfrequenzwellen** sollen die Dissipation der Kondensstreifen bewirken. Damit soll die Entstehung der Zirruswolken verringert werden.
- **Wasserstoffbetriebene Flugzeuge** sollen langfristig gesehen zum Einsatz kommen. Entscheidend ist hierbei das Wasserstoff umweltfreundlich herzustellen.
- **Wirbelfreie Strömung** an den Tragflächen ist für die Aerodynamik ein langersehntes Ziel, dem neue Materialentwicklungen und Ansaugtechnologien positiv entgegensteuern.
- **Verbesserte Navigationssysteme** der Zukunft basieren auf Air Traffic Control/Air Traffic Management Systemen (ATC/ATM), die auf Galileo und fortschrittliche GPS Systeme zurückgreifen. Durch den Versuch im Luftraum international zu kooperieren, sollen Wartezeiten und die damit verbundenen Kraftstoffverbräuche gesenkt werden.
- **Leichte Metall-Verbunde** werden in den wichtigsten tragenden Strukturen weitere Gewichtsersparnisse ermöglichen.
- **Formationsflug** ist ein weiteres, viel versprechendes Forschungsgebiet, die auf dem GPS System basiert.
- **Leise Flugzeuge** sollen den Airlines sowie den Flughäfen den Luftverkehr tragbarer gestalten.
- **Propeller-Triebwerke** könnten mehr als 30% an Einsparung ermöglichen. Im Vergleich zu heutigen Triebwerken, könnten diese mit der entsprechenden Konfiguration am Flugzeug sogar 50% betragen.
- **Elektrisch angetriebene Flugzeuge** sind schon in Verbindung mit Unmanned Aerial Vehicle (UAV) im Einsatz. Wenn die Akkuleistung der eingesetzten Batterie größere Wirtschaftlichkeit erzielen lässt, sollte diese Technologie 2050 viel zur Umwelt beitragen können.
- **Outboard horizontal Stabilisier (OHS)** Konfigurationsdesign erhöht den Auftrieb bei gleichzeitiger Reduktion des Widerstandes.
- **Den Solarbetrieb** im Flugzeugbau sollte ebenfalls ein hoher Stellenwert eingeräumt werden. Heute befinden sich Solarzellen schon bei UL-Fliegern und Motorseglern im Einsatz. Auch der BWB bietet auf der Vorderseite eine große Fläche, die für Solarzellen genutzt werden könnte.
- **Luftbetankung der Flugzeuge** sollen den Einsatz kleiner Flugzeuge für Langstreckenflüge fördern. Im Reichweiten-Kraftstoffdiagramm könnten somit Einsparungen erzielt werden, die bei 45% liegen.
- **Formverändernde Flugzeuge (Morphing Aircraft)** wären in der Lage sich an die unterschiedliche Flugphasen anzupassen und somit eine Kosteneffizienz ermöglichen.
- **Hybrid-Bodenfahrzeuge**, die Batterie- oder Wasserstoffbetrieben werden, würden zur Besserung der Luftqualität an den Flughäfen sorgen.

- **Multimodale Flughäfen** sollen für einen übergangslosen, schnellen Einsatz der Passagiere (vergleichbar mit der Luftfracht-Logistik) mit anderen Verkehrsmitteln sorgen. Somit wäre der PKW-CO₂-Ausstoss, der verhältnismäßig am meisten der Luftverschmutzung beiträgt, verringert worden.
- **Nachhaltige Energieversorgung** an den Flughäfen. Die benötigte Energie für den Flughafenbetrieb soll mit Hilfe von Wind-, Wasser- Solarkraftanlagen gewonnen werden.
- „grüne“ **Hubschrauber** könnten zukünftig eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs von 45% bei gleichzeitiger Geräuschverminderung, durch neues Rotorblattdesign nach sich ziehen.
- **Einführung der Luftschiffe** würden für einen leiseren und umweltfreundlicheren Transport von Passagieren und Fracht sorgen.

5 DOC für Frachtflugzeuge

5.1 Übersicht

Keine der bekannten DOC-Methoden sind auf reine Frachtflugzeuge ausgelegt. Es wird lediglich durch spezifische Kostenparameter der Unterschied zur Passagier-Version veranschaulicht und errechnet.

Nach Expertengesprächen zu urteilen, ist die Airbus GmbH dabei eine DOC-Methode speziell für Frachtflugzeuge zu entwickeln. Hauptaugenmerk soll in den Langstreckenfrachtflugzeugen liegen, da den Prognosen nach hier der Bedarf stark ansteigen wird (**Bild 5.1**). Nichtsdestotrotz werden die Kurzstreckenfrachter weiterhin ihren Einsatz finden.

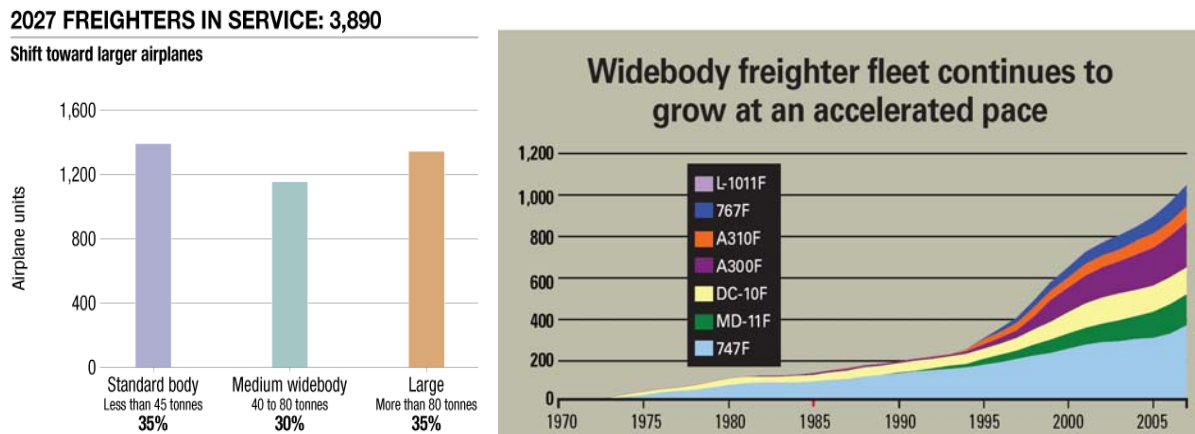


Bild 5.1 Bedarf an Frachtflugzeugen in 20 Jahren und die heutige Frachtflotte weltweit (**Boeing 2008**)

Die DLH nahm frühzeitig in den 80er Jahren Rücksicht auf reine Frachtflugzeuge und ihrer Wirtschaftlichkeit, letztlich wegen der eigenen Frachtflugzeug-Flotte. Danach wurde in verschiedenen Zeitabständen die gesamte DOC-Methode überarbeitet und aktualisiert. Sie bemühten sich bei den Revisionen um die Erweiterung der Frachter spezifische Kostenelemente. Nach Angaben der LH Cargo wird dieses Vorgehen beibehalten und lediglich um die Umweltbezogenen Kostenanteile erweitert werden.

Verschärfung der Umweltauflagen in der Luftfahrt drängt die Flugzeugbetreiber stärker denn je zum Kauf von neuen Flugzeugen. Viel höher ist der Druck an Luftfrachtgesellschaften, da viele im Einsatz befindliche Frachtflugzeuge nicht fabrikneu sind, sondern schon vorher 20 bis 25 Jahre als Passagierflugzeuge gedient haben. Nach ungefähr 35 bis 40 Jahren haben Flugzeuge generell ausgedient und landen auf dem Flieger-Schrottplatz, wo sie recycelt wer-

den. Wie es aus **Bild 5.2** hervorgeht, werden mehr als 700 Frachtflugzeuge in 10 Jahren ausgemustert.

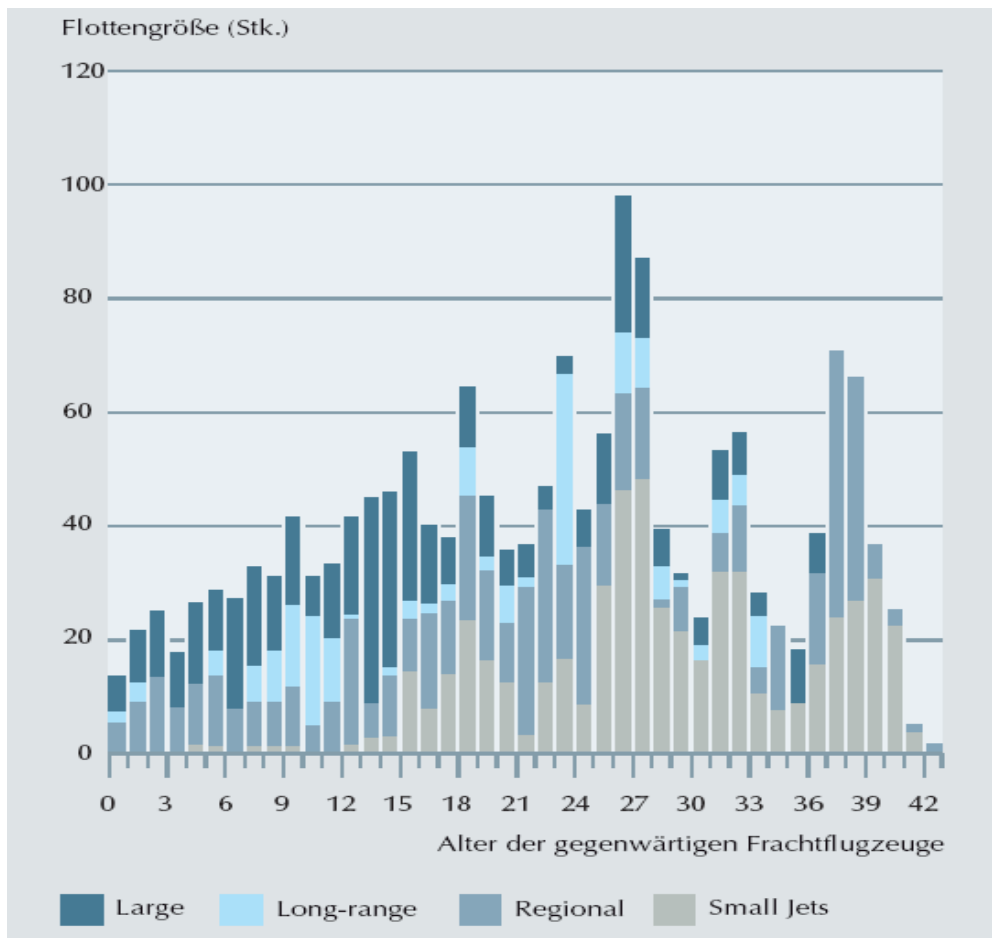


Bild 5.2 Alter der im Einsatz befindlichen Frachtflugzeuge (DCM 2008)

5.2 Unterscheidungsmerkmale

Alle Experten, die ein Ohr für mich frei hatten, erzählten von der großen Ähnlichkeit der Betriebskostenberechnung unter den Frachtern und Passagiermaschinen. Von vornherein ließen sich Kostenelemente für die Kabinenbesetzung und die passagierabhängigen Gebühren eliminieren. Unterschiede seien in den Versicherungskosten – Expressgut, Normalfracht, Gefahrentransport – sowie bei den Gebührenelementen zu beachten. Desweiteren könnten Unterschiede in den Abschreibungskosten für die Wertminderung erfolgen, wenn die DOC für die zu Frachtmaschinen umgerüsteten Passagierflugzeuge ausgelegt werden, da diese Flugzeuge bereits seit 25 Jahren im Dienst wären. Zusätzlich entstehen bei diesen Frachtern auch höhere Wartungskosten, die mit mehr Standzeit für die Wartungsarbeiten zusammenhängt. Sowohl die Gewährleistung maximal möglicher betrieblicher Sicherheit, die Erlangung und Beibehal-

tung einer hohen Einsatzzuverlässigkeit als auch die Optimierung der Wirtschaftlichkeit im Betriebsablauf wird zeit- und damit kostenintensiver. Zudem fliegt der Frachter in dieser Zeit nicht, sodass doppelte Kosteneinbußen eintreten.

Die Angabe der DOC-Auswertung sei in Abhängigkeit von der Blockstunde bzw. Flugstunde gängig. Eine weitere Auswertung, die sich in dem Luftfrachtverkehr etabliert hat, ist die DOC bezogen auf die Frachttonnenkilometer. Bei reinen Frachtflugzeugen sind zu den genannten Unterschieden auch die Umweltfaktoren zu berücksichtigen. Die Diskussionen über umweltbezogene Gebühren erfordern mehr fachübergreifenden Technologieeinsatz um die DOC gering zu halten. Relevante Maßnahmen für die Kostensenkung trotz steigender Umweltauflagen, wären hauptsächlich durch das Verringern des Betriebsleergewichts eines Flugzeuges und dem Einsatz kraftstoffoptimierter Triebwerke sowie die effektive Auslastung (utilization) der Frachtflugzeuge zu erzielen. Einer der weltweit führenden Frachtfluggesellschaften, die LH-Cargo, machte folgende Angaben hinsichtlich der Auslastung: Im Jahr 2008 machte die LH-Flotte mit 19 MD-11 Flugzeugen insgesamt 24175 Flugbewegungen. Dadurch ergibt sich eine Auslastung von 1,74 Flugbewegungen am Tag. Das wiederum steht im Zusammenhang mit der Flugzeit pro Flug ab. Im Jahr 2007 wurde 90295h Flugzeit (96979h Blockzeit) bei 16220 Flugbewegungen registriert, sodass ein Flug von 5,56h pro Flugbewegung und 11h pro Flugzyklus als Anhalts- und Vergleichswert dienen kann. Damit wird deutlich, dass ein Frachtflugzeug nicht zwangsläufig die meiste Zeit über in seiner Parkposition stehen muss, sondern ähnlich wie ein Passagierflugzeug durchaus 20h am Tag fliegen kann.

5.3 Betriebskosten in Formeln

Nach Expertenmeinungen sind die in **Scholz 1999** ausgearbeiteten Formeln für die Berechnung der DOC eines Flugzeuges durchaus noch aktuell. Zusammen mit **Mildt 2000** und **Meyer 2004** bildet dieser die Grundlage für die folgende Betriebskostenkalkulation für Frachtflugzeuge.

Zunächst sind die gängigen Parameter in den folgenden **Tabellen 5.1** und **5.2** aufgelistet.

Tabelle 5.1 Relevante Parameter (eigene Darstellung)

Parameter	AI	DLH
n_{DEP}	15	14
K_{ZELLE}	0,06	-
$K_{Triebwerk}$	0,25	-
Restwert	10%	0%
$P_{ZINSSATZ}$	0,0197	0,057
K_{INS}	0,005	0,0056
P_{INF}	0,033	0,06
K_{LD}	0,0025	-
$K_{NAV (SR)}$	0,0018	0,00706
$K_{NAV (MR)}$	0,0018	0,00547
$K_{NAV (LR)}$	0,0018	0,00141
n_{YEAR}	2009	2009
n_{METHOD}	1989	1982
$K_{INF}=(1+P_{INF})^{n_{YEAR}-n_{METHOD}}$	1,9	4,82

Tabelle 5.2 Wartungskostenspezifische Einflussparameter der Lufthansa (**eigene Darstellung**)

Parameter	Erklärung
n_{TECH}	Technologisches Alter eines Flugzeugtyps und dessen Komponenten in a
n_{SERV}	Technologisches Alter eines Flugzeugtyps und dessen Komponenten in a
FH	Flugzeit
n_{YEAR}	das Jahr, für das die ISH-Kosten berechnet werden sollen
n_{METHOD}	das Jahr, in dem die ISH-Kosten erfasst wurden und das Modell erstellt wurde
n_{CALC}	das Jahr, für das über den Inflationsausgleich die Mannstundensätze berechnet werden
n_{REF}	das Jahr, in dem die Stundensätze festgelegt wurden
$Year_{aircraft}$	Zulassungsjahr des ersten Flugzeuges einer Flugzeugfamilie
$Year_{derivate}$	Zulassungsjahr der betrachteten Flugzeugversion
$Year_{average}$	durchschnittliches Zulassungsjahr aus den beiden oberen Jahren
Inf_{Arbeit}	Inflation der Arbeitslöhne (Lohnsteigerung) p.a.
Inf_{Mat}	Inflation der Materialpreise p.a.
Kurs	Kursverhältnis zwischen US\$ und €

5.3.1 Auswertung

Die Auswertung der Betriebskosten erfolgt bei Frachtflugzeugen üblicherweise in Abhängigkeit der Block- bzw. Flugstunden oder in Frachttonnenkilometer. Wenn das Ergebnis der Gleichung $C_{DOC} = C_{DEP} + C_{INT} + C_{INS} + C_F + C_M + C_C + C_{FEE}$ durch die Anzahl der Flüge pro Jahr und der Flugzeit geteilt wird, erhält man die DOC in Blockstunden.

$$\frac{C_{DOC}}{n_{FLUG} \cdot BH} = DOC / BH$$

Um die Angabe in Frachttonnenkilometer zu erhalten wird die DOC durch die Reichweite R, Frachtmasse und der Anzahl der Flüge im Jahr dividiert.

$$\frac{C_{DOC}}{n_{FLUG} \cdot m_{cargo} \cdot R} = DOC / FTK$$

5.3.2 Abschreibung

Die Abschreibungskosten C_{DEP} errechnen sich durch die Division der Kapitalkosten und der Nutzungsdauer.

$$C_{DEP} = \frac{P_{NEU} - P_{Restart}}{n_{DEP}}$$

Dabei setzt sich P_{NEU} aus der Summe des Flugzeug-Listenpreises und dem Ersatzteilpreis zusammen.

$$P_{NEU} = P_{LISTE} + P_{ERS}$$

Der Listenpreis setzt sich aus den Triebwerkspreisen und der Preis für die Zelle zusammen und kann erfragt oder mit Hilfe folgender Formel abgeschätzt werden:

$$P_{LISTE,SR} \approx 500US\$ \cdot MTOW$$

$$P_{LISTE,LR} \approx 350US\$ \cdot MTOW$$

Jedes Flugzeug hat einen eigenen Preis, denn oft sind solche Preise mit Dienstleistungen wie Wartungsarbeiten verbunden und beherbergen Rabatte oder Zusatzkosten für spezielle Wünsche.

Die Ersatzteilkosten werden in zwei Teile gegliedert: die Ersatzteile für das Triebwerk und für die Zelle. In der Regel liegen die Kosten für die Triebwerksersatzteile bei 30% und für die Zellenersatzteile bei 10% des Listenpreises. Die AI bedient sich einer anderen Aufteilung. Generell lässt es sich wie folgt zusammenfassen:

$$P_{ERS} = K_{ZELLE} \cdot P_{ZELLE} + n_{Triebwerke} \cdot K_{Triebwerke} \cdot P_{Triebwerke}$$

$$\Rightarrow P_{Triebwerk} \approx 293US\$(T/O - Schub[N])^{0,81}$$

Bei Frachtflugzeugen liegt der Restwert bei 0% des Listenpreises, da diese am Ende ihres Dienstes keinen Restwert mehr haben. Passagiermaschinen können noch weiterverkauft werden und weiter als umgerüstete Frachtflugzeuge dienen. Somit vereinfacht sich die Formel zu

$$C_{DEP} = \frac{P_{NEU}}{n_{DEP}}.$$

5.3.3 Zinsen

Auch Frachtflugzeuge werden ausschließlich über Banken finanziert. Um diese Kosten in der DOC-Methode zu berücksichtigen, wird von einem Zinssatz ausgegangen und mit der folgenden Formel berechnet:

$$C_{INT} = P_{Zinssatz} \cdot P_{NEU}$$

5.3.4 Versicherung

Es gibt diverse Luftfahrtversicherungen, die abgeschlossen werden können. Einige davon wären:

- Nutzungsausfall-Versicherungen
- Transport-Versicherungen (Luftfahrzeuge als Frachtgut)
- Inventar-Versicherungen für Flugzeughallen
- Feuer-, Sturm- und Hagel-Versicherungen für Flugzeuge und Flugzeughallen
- Frachthaftpflicht-Versicherungen
- Zusatz-Versicherungen für Krieg, Politische Gefahren
- Versicherung der Selbstbeteiligung
- Fluggast-Unfall-Versicherung für Firmen
- Haftpflicht-Versicherung für Flugplätze
- Haftpflicht-Versicherung für Flugtage
- Haftpflicht-Versicherung für Piloten
- Haftpflicht-Versicherung für Tankanlagen

In den Jahren haben sich Parameter herauskristallisiert, mit denen die Versicherungsbeiträge anteilig über P_{NEU} grob beschrieben werden können.

$$C_{INS} = K_{INS} \cdot P_{NEU}$$

5.3.5 Kraftstoff

Die Kraftstoffpreise sind abhängig von der Anzahl der Flüge im Jahr, dem Kraftstoffpreis in kg sowie der Kraftstoffmasse m_F , die mitgenommen werden muss. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch die Reserve-Kraftstoffmasse mit dazugezählt wird. Diese Reserve setzt sich aus 5% Zusatz-Kraftstoff, Kraftstoff für das Erreichen eines Ausweichflughafens und dem Kraftstoff mit der noch eine halbe Stunde geflogen werden kann, zusammen.

$$C_F = n_{FLUG} \cdot P_F \cdot m_F$$

5.3.6 Personalkosten

Da bei Frachtflugzeuge keine Kabinen-Crew gebraucht wird, fallen die Kosten C_{CREW} weg.

$$\Rightarrow C_C = C_{CO}$$

Die Anzahl der Cockpitbesatzung n_{CO} richtet sich nach der Flugstrecke. Bei Langstreckenflügen wird ein 3-Mann-Cockpit vorgeschrieben.

Kurzstrecke $SR < 3000$ nm

Mittelstrecke $3000 \text{ nm} < MR < 5500$ nm

Langstrecke $LR > 5500$ nm

$$C_{CO} = (n_{CO} \cdot L_{CO}) \cdot BH \cdot n_{FLUG}$$

Die Lohnkosten für die Piloten L_{CO} sind Airline abhängig. Zudem sind die Flugerfahrung und die Flugzeuggröße entscheidend.

5.3.7 Gebühren

Die Gebühren setzen sich aus den Flugplatznutzungs-, Flugsicherungs- und Bodenabfertigungsgebühren zusammen: $C_{FEE} = C_{LD} + C_{NAV} + C_{GND}$

Zahlenwerte sind den **Tabellen 5.5-5.7** zu entnehmen. Zwar sind allgemeine Berechnungsformel für das Kostenelement der DOC, den Gebühren, durch folgende Formeln gegeben, sind aber nicht mehr ausreichend.

$$C_{LD} = K_{LD} \cdot R \cdot m_{MTO} \cdot n_{FLUG} \cdot K_{INF}$$

$$C_{NAV} = K_{NAV} \cdot R \cdot \sqrt{m_{MTO}} \cdot n_{FLUG} \cdot K_{INF}$$

$$C_{GND} = K_{GND} \cdot m_{carg o} \cdot n_{FLUG} \cdot K_{INF}$$

Die neuen Umweltauflagen, wie die Emissionsgebühren müssten hinzugezählt werden. Allgemein würde somit gelten:

$$C_{FEE} = C_{LD} + C_{NAV} + C_{GND} + C_{EMISSION}$$

5.3.8 Wartung/ISH

Die Wartungskosten werden in planbare und nicht-planbare ISH-Arbeiten gegliedert. Diese Arbeiten lassen sich in zeitabhängige und –unabhängige ISH-Intervalle gliedern: 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. Bei der zeitabhängigen ISH steigen die Kosten bei langen Flügen, wohingegen bei der zeitunabhängigen ISH die Kosten mit der Anzahl der Flüge steigen.

Wie bei der DOC-Methode werden die ISH-Kosten ebenfalls in fixe und variable Kosten aufgeteilt. Bei den fixen Kosten handelt es sich um diejenigen, die anfallen um die Wartungsarbeiten ausführen zu können z.B. die Bereitstellung der Werkzeuge. Die variablen Kosten hingegen beinhalten die Kosten, die durch die eigentlichen ISH-Ereignisse entstehen und werden getrennt nach Zelle, Systemen und Triebwerken modelliert.

Die Kosten, die durch die variablen ISH-Ereignisse abgedeckt werden, zählen zu den direkten ISH-Kosten und werden mit DMC abgekürzt. Allgemein gilt, dass sich die Wartungskosten aus den Anteilen Arbeitskosten und Materialkosten zusammensetzen.

$$\Rightarrow C_M = C_{ARBEIT} + C_{MATERIAL}$$

Am detailliertesten erfasst die DLH die Wartungskosten und berücksichtigt somit alle Kategorien: Wartung, Überholung, technische Neuerungen und Umlaufteil-ISH.

Die Berechnungsformel für die Arbeitskosten pro FH lautet somit:

$$\frac{C_{ARBEIT}}{FH} = 0,542 \cdot n_{SERV}^{0,115} \cdot m_{MTO}^{0,564} \left(1 + \frac{0,5}{n_{TECH}} \right) \cdot (1 - 0,05)^{n_{YEAR} - n_{METHOD}} L_{ARBEIT} (1 + Inf_{ARBEIT})^{n_{CALC} - n_{REF}} \left(\frac{1}{FH} \right)$$

Die Materialkosten lassen sich dann wie folgt berechnen:

$$\frac{C_{MAT}}{FH} = 9,386 \cdot n_{SERV}^{0,212} \cdot m_{MTO}^{0,643} \left(1 + \frac{0,5}{n_{TECH}} \right) \cdot \frac{KURS}{1,7} (1 + Inf_{MAT})^{n_{CALC} - n_{REF}} \left(\frac{1}{FH} \right)$$

Das technologische Alter n_{TECH} errechnet sich damit:

$$\Rightarrow n_{TECH} = n_{YEAR} - YEAR_{average}$$

Wie schon oben erwähnt, erhöhen sich die ISH-Kosten für ältere Flugzeugmuster. Sowohl die Arbeits- als auch die Materialkosten. Das Flugzeug steht zwangsläufig wegen dem Wartungsbedarf länger am Boden und kostet die Airline zweifach.

5.4 Betriebskosten in Zahlen

Die wichtigsten betrieblichen Vermögenswerte der Fluggesellschaften sind die Flugzeuge. Verdient wird das Geld auch bei Frachtairlines nur, wenn der Flieger in der Luft ist. Die finanzielle Regelung für die Anschaffung und Betrieb von Flugzeugen (z.B. Bargeld, Darlehen, Operating-Leasing, Finanzierungs-Leasing, etc.) hängt von der finanziellen Stärke der Luftfahrtgesellschaft ab. Risiken im Zusammenhang mit Währungs- und Zins-Schwankungen, Capital Verpflichtungen, Unternehmenseffizienz, Wettbewerbsfähigkeit und die Auswirkungen auf die künftige finanzielle Lage sollten detailliert betrachtet werden.

Relevante Kenndaten ausgewählter Frachtmaschinen sind der **Tabelle 5.3** zu entnehmen. Die hierfür notwendigen Daten sind mit Hilfe von **Luftfahrt 2008, ATR 2009 und Cargo 2009** sowie mit **Anhang D** zusammengestellt worden. Beim Auswählen wurde gezielt Kurz-, Mittel- und Langstreckenflugzeuge ausgesucht, die sich zusätzlich im Dienstalter unterscheiden.

Tabelle 5.3 Kenndaten unterschiedlich großer Frachtflugzeuge

Parameter	ATR-72F	MD-11F	B747-400F	B777F
Indienststellungsjahr	1989	1991	1990	2009
Triebwerk	PW127	CF6-80C2	CF6-80C2B1F	GE-90110B1L
Triebwerkshersteller	Pratt & Whitney	General Electric	General Electric	General Electric
Schub	2750 PS ^a	273 kN	254,7 kN	484 kN
max. Startgewicht MTOW	22 t	274,655 t	396,9 t	356,42t
max. Nutzlast	8,423 t	90,13 t	112,63 t	103,87 t
Reichweite (max Nutzlast)	926 km	7020km	7640 km	9045 km
max. Tankkapazität	6250 L	146173 L	196974 L	181280 L
Reisegeschwindigkeit	510 km/h	950 km/h	901 km/h	939 km/h
Cargo-Volumen	75,5 m ³	609,7 m ³	737,5 m ³	653 m ³
typische Ladedichte	111,56 kg/m ³	131,6 kg/m ³	131,6 kg/m ³	131,6 kg/m ³
Ausgaben für einen Pilot mit 5 Jahren Erfahrung ^b	69,43€/Std	88,16€/Std	100,28€/Std	115,71€/Std

^a Bei Propeller Triebwerken wird der Schub in PS bzw. kW angegeben.

^b inkl. 45% Arbeitnehmer Nebenkosten, 16000 Flugstunden pro Jahr, bei Continental Airline

Das **Bild 5.3** zeigt, dass die Investition in neue Flugzeuge sich auf Dauer auszahlt. Zwar wird mehr zu Anfang investiert, dafür wird die Gewinnschwelle schneller erreicht. Die fixen Kosten bleiben hoch bei einer Neuinvestition, jedoch werden erhebliche Kosten auf der variablen Seite gespart. Da variable Kosten über eine Fluglebensdauer von ca. 40 Jahren über anhalten, im Verhältnis jedoch die fixen Kosten nach ca. 10 Jahren abbezahlt sind, rentiert sich die Investition in neue Flugzeuge. Zudem entstehen weniger Wartungskosten, aufgrund der oben beschriebenen Gründe. Neue Frachtflugzeuge sind auch mit neuesten Technologien ausgestattet, sodass der Kraftstoffverbrauch auch viel geringer ausfällt. Geringerer Kraftstoffverbrauch, damit in Zusammenhang stehender Treibstoffkosten, sind neben innovativer Triebwerkstechnik auch auf die leichtere Konstruktion sowie Aerodynamik der Flugzeuge zurückzuführen und ermöglichen eine erhebliche Stauchung der Betriebskosten. Die Kraftstoffkosten betragen derzeit 61,3US\$/barrel bzw. 1,46US\$/gallon, sodass die dargestellten Treibstoffkosten sogar viel zu hoch ausfallen.

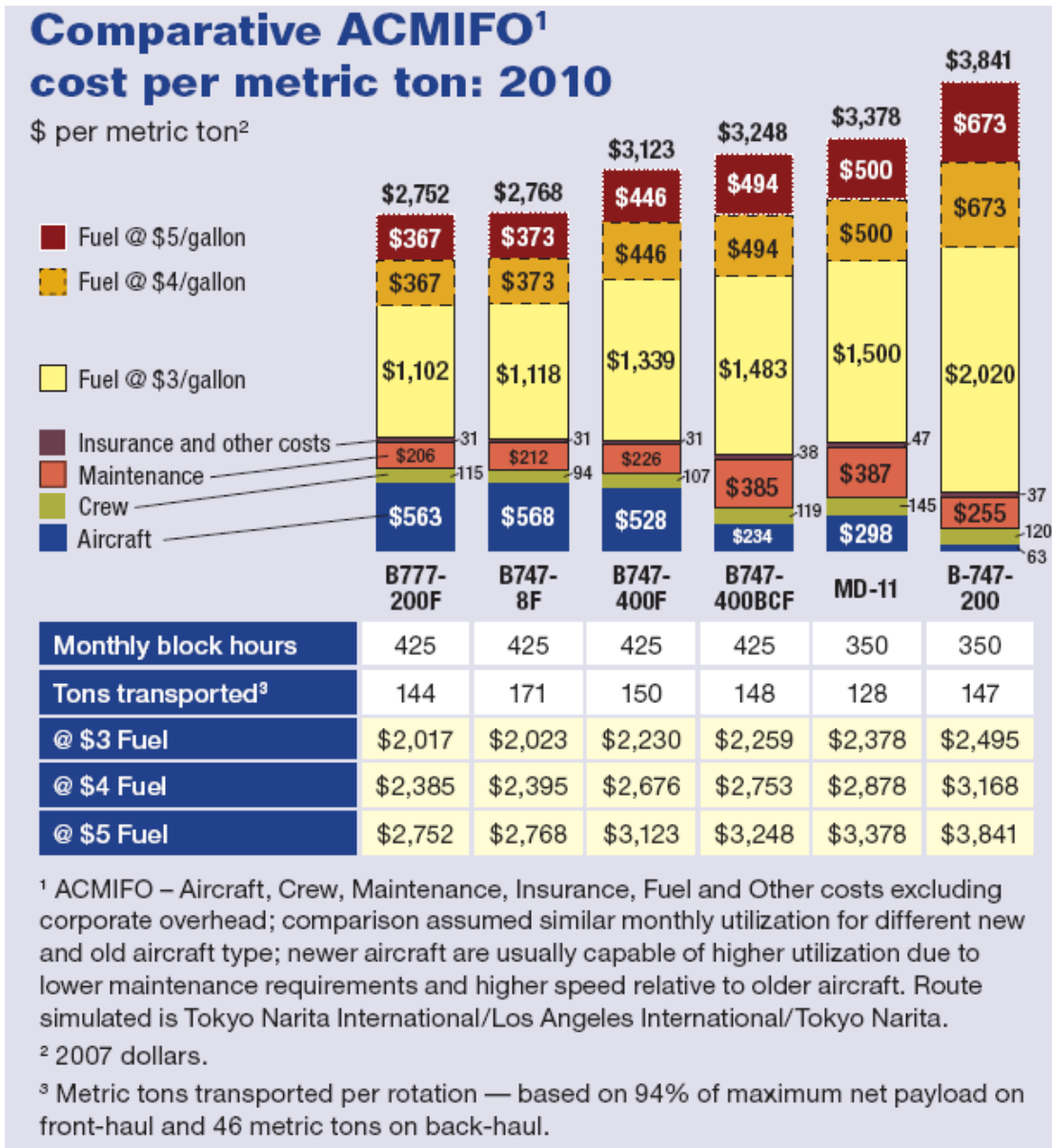


Bild 5.3 Betriebskosten pro Tonne verschiedener Frachtflugzeuge (MergeGlobal)

Einige DOC-Daten US-Amerikanischer Frachtfluggesellschaften – Atlantic Southeast Airlines, Continental Airlines, Gemini Air Cargo, Polar Air Cargo - dienen im Folgenden als eine sinnvolle Ergänzung für den Vergleich zwischen Kurz- und Langstreckenflugzeuge (**Tabelle 5.4 und 5.5**). Die ausgewählten Airlines haben jeweils unterschiedliche Flottenstärken, damit eine repräsentative Übersicht gewährleistet werden kann.

Tabelle 5.4 DOC per Block Hour in \$ (**Eigene Darstellung**)

Kosten	MD11F	B747-400
Block Hour	5,98	8,073
Daily Utilisation	10,9	12,5
Cycles per Day	2	2
Cco	873	1072
Cfuel	120	5820
Cother	31	36
DMC-Airframe	966	563
DMC-Engine	319	11
Maintenance burden	186	317
Cdep	39	94
Crent	1886	2468
Total Costs per Block Hour	4453	10382
Costs per Aircraft mile	9	22
Average Range	3337nm	3385nm
Costs per Departure	31256	73031

Tabelle 5.5 DOC per Trip in \$ (**Eigene Darstellung**)

Kosten	ATR-72F
Block Hour	55min
Utilisation	1000BH/a
Block Fuel	578kg
Cco	274
Cfuel	381
DMC-Airframe	129
DMC-Engine	107
Total DMC in \$/FH	285
Navigation/Landing Charges	455
Cash DOC	1411

5.5. Luftverkehrsentgelte

Die Luftverkehrsentgelte an deutschen Flughäfen setzen sich aus fixen Lande- und Startentgelten, Abstellentgelten sowie den variablen passagierabhängigen Entgelte zusammen. Letzteres hat für die Arbeit keine Relevanz, da ein reines Frachtflugzeug untersucht wird. Die Flughafenentgelte sind genehmigungspflichtig durch die Luftfahrtbehörde nach §43 LuftVZO. Zu den Flughafenentgelte kommen die Infrastrukturentgelte dazu, die genehmigungsfrei sind und der Verzeichnis nach §19c LuftVG erfolgt. Die Infrastrukturen beinhalten die Bodenabfertigungsdienste, die sich wie folgt zusammensetzen (**ÖKO 2004**):

1. Abfertigungspositionen
2. Fluggast Abfertigungsschalter
3. Entsorgungssystem für Abfall
4. Entsorgungssystem für Fäkalien
5. Gepäckfördersystem (inkl. Sperrgepäckeinrichtungen)
6. Geräteabstellflächen
7. Flughafeninformationssystem
8. Versorgungssystem für Frischwasser
9. Betankungsrelevante Infrastruktur – Versorgungssystem Flugkraftstoffe
10. Zentrale Enteisungseinrichtungen
11. Catering

Je nach Flugzeugalter und -Größe variieren die Luftverkehrsentgelte sehr stark. Es ist Fakt, dass beim Start sowie bei der Landung Lärm und Schadstoffe emittiert werden. Lärm- und Schadstoffemissionen steigen mit größerem Startgewicht und zunehmender Nutzlast. Da Frachtflugzeuge in der Regel ein höheres Startgewicht haben als Passagierflugzeuge, ist die Emissionsbelastung pro Flugbewegung höher. Genau diese Gebührenteile, die an einigen ausgewählten Flughäfen seit 2008 erhoben werden, fallen in den Flughafen-Entgeltordnungen stärker ins Gewicht, In den **Tabellen 5.6 bis 5.8** sind die Gebühren für drei deutsche Flughäfen – Leipzig/Halle (FLHG), Frankfurt (FRAPO), München (MUC) - durchgerechnet worden.

Tabelle 5.6 FRAPO Entgeltordnung (**Eigene Darstellung**)

Kostenelemente	Allgemein	ATR-72F	MD-11F	B747-400F
Lande- und Starttarife je Landung pro MTOW	0,79€/1000kg	17.380€	216.977,45€	313.55€
Frachtmengenentgelt	0,16€/100kg Fracht	13,48€	144,10€	180,21€
Lärmabhängiges Entgelt	gemäß ICAO Annex 16			
Lärmklasse	Aus Tabelle	0	3	4
Tagestarif	entsprechend der Lärmklasse	0	72 €	265 €
Nachtrandzeit 22.00 - 22.59 und 05.00 - 05.59 Uhr	Zusätzlicher Tarif	36 €	180 €	530 €
Nachtkernzeit 23.00 - 04.59 Uhr	Zusätzlicher Tarif	45 €	220 €	630 €
Emissionsabhängiges Entgelt LTO-Cyclus	3€/kg NOx (Emissionswert)	45,01€	1.676,6€	963,95 €
nach ERLIG 2009: je ausgestoßenem kg Stickoxidäquivalent -->	Aus Anhang B [g/kg Kerosin]			
NOx (Luftfahrzeug [kg]) = Wichtung x Anzahl Triebwerke x \sum (Mode Zeit[s] x Treibstoffverbrauch [kg/s] x Emissionsfaktor [g /kg]) /1000	NOx			
	T/O	9,12	28,1	24,9
	App	11,2	12,7	12,5
	C/O	8,26	21,3	19,7
	CO			
	T/O	698,23	0,1	0,0
	App	625,82	1,9	2,1
	C/O	484,94	0	0,1
	HC			
	T/O	7,03	0,0	0,1
	App	6,79	0,1	0,1
	C/O	5,71	0,1	0
t=4 min App. [g/s]	Treibstoffv. T/O	172,4	2629	2422
t=0,7 min T/O [g/s]	Treibstoffv. App	80,1	688	650
t=2,2 min C/O [g/s]	Treibstoffv. C/O	154,8	2126	1983

	Anzahl der Triebwerke	2	3	4
	Wichtung	1	1	0,5
Sicherheitsentgelt	0,20€ pro 100kg Ladung	16,85 €	180,20 €	225,2€
Abstellentgelt/Parktarif	Pro Stunde ein Grundentgelt			
abhängig von der Parkposition und Zeit	Parkposition	2	5	7
	00:00 - 23:59	nur Parkpo- sition 1		
	06:00 - 21: 59	bis 2 Std. 17€/h	Bis 5 Std. 40€/h	bis 5 Std. 44€/h
	22:00 - 05:59	10€/h.	25€/h	28€/h
Entgelt für Abfertigung	je Abfertigung 69€	69 €	69 €	69 €

Tabelle 5.7 MUC Entgeltordnung (**Eigene Darstellung**)

Kostenelemente	Allgemein	ATR-72 F	MD-11F	B747-400F
Lande- und Starttarife je Landung pro MTOW	Bonuslistenabhängig (alle Flugzeugmuster sind in der Bonusliste enthalten)			
ab 06.00 - vor 22.00 Uhr	1,45€/1000kg	31,90 €	398,75 €	574,20€
ab 22.00 - vor 06.00 Uhr	1,66€/1000kg	36,52€	456,50 €	657,36€
Lärmabhängiges Entgelt je Landung	gemäß ICAO Annex 16			
Lärmklasse		3	9	9
Tagestarif	Aus Tabelle entsprechend der Lärmklasse	111 €	293 €	293 €
Variable Frachtentgelte pro Nutzlast	0,78€/100kg	66 €	703 €	878 €
Emissionsabhängiges Entgelt LTO-Cyclus	3€/kg Nox (Emissionswert)	45,01 €	1.676,58€	963,95€
nach ERLIG 2009: je ausgestoßenem kg Stickoxidäquivalent	Aus Anhang 8			
--> NOx (Luftfahrzeug [kg]) = Wichtung x Anzahl Triebwerke x \sum (Mode Zeit [s] x Treibstoffverbrauch [kg/s] x Emissionsfaktor [g /kg]) / 1000	NOx [g/kg Kerosin]			
	T/O	9,12	28,1	24,9
	App	11,2	12,7	12,5
	C/O	8,26	21,3	19,7
	CO [g/kg Kerosin]			
	T/O	698,23	0,1	0,0
	App	625,82	1,9	2,1
	C/O	484,94	0	0,1
	HC [g/kg Kerosin]			
	T/O	7,03	0,0	0,1
	App	6,79	0,1	0,1
	C/O	5,71	0,1	0
t=4 min App.	Treibstoffverbrauch T/O [g/s]	172,4	2629	2422
t=0,7 min T/O	Treibstoffverbrauch App [g/s]	80,1	688	650
t=2,2 min C/O	Treibstoffverbrauch C/O [g/s]	154,8	2126	1983

	Anzahl Triebwerk	2	3	4
	Wichtung	1	1	0,5
Sicherheitsentgelt	0,18€ pro 100kg Ladung pro 24 Std.	15,12 €	162,18 €	202,68 €
Abstellentgelt/Parktarif ab der 4. Parkstunde	2,50€/Std. pro 1000kg MTOW	55 €	687,50 €	990 €

Tabelle 5.8 FLHG Entgeltordnung (**Eigene Darstellung**)

Kostenelemente	Allgemein	ATR-72 F	MD-11F	B747-400F
Lande- und Starttarife je Landung pro 1000 kg MTOW	Bonuslistenabhängig (alle Flugzeugmuster sind in der Bonusliste enthalten)			
	6,41€/1000kg	141,02 €	1.762,75 €	2.538,36 €
Abstellentgelt/Parktarif	2,13€/Std. pro 1000kg MTOW	47 €	585,75 €	843 €
Nutzungsentgelte	je Abfertigung	120 €	905 €	1.080 €
Handlingsentgelte + 40%	je Abfertigung Gesamt	406 €	2.604 €	3.283 €

Die Auswahl eines Heimatflughafens ermöglicht den Frachtfluggesellschaften selbstverständlich gesonderte Rabatte, die gerade in Bezug auf die Parktarife sehr wichtig werden.

6 Zusammenfassung

Vorgelegt wurden die Zusammenhänge in der Bewertung von reinen Frachtflugzeugen. Auf verschiedene Aspekte wie Ökologie, Ökonomie und technischer Fortschritt wurde dabei Rücksicht genommen. Entgeltordnungen drei deutsche Flughäfen wurden für Kurz- und Langstreckenflugzeuge durchgerechnet. Emissionsbezogene Landeentgelte fallen schwerer ins Gewicht als erdacht.

Zudem gibt die Arbeit Zahlenwerte für den Vergleich der Betriebskosten eines Frachtflugzeuges wieder. Im Anschluss wird die Wirtschaftlichkeit neuer Frachtflugzeuge dargelegt.

7 Schlussbemerkung

Europaweite Neu-Strukturierung der Flug-Sicherung hätte eine sofort spürbare Reduzierung des Schadstoff-Ausstoßes zur Folge u.a. wegen der Reduzierung von Warteschleifen und Umwegen.

Die Emissionsreduktion durch den Kauf von neuen Flugzeugen ist mit einem Zeithorizont von mehreren Jahren verbunden, d.h. heute wird bestellt aber 2010 wird geliefert. Mitunter aus diesem Grund ist vor 2015 nicht mit einer neuen Generation umweltfreundlicher Flugzeuge zu rechnen. Auch sind modernere Triebwerkstechnologien noch nicht verfügbar.

Eine Ausweitung der Grundlagen-Forschung (z.B. Brennstoff-Zelle als APU-Ersatz, Ummanntelter Propeller etc.) würde die Verfügbarkeit neuer Technologien beschleunigen, sodass hier der Schwerpunkt gesetzt werden sollte.

Die erhobenen Emissionsgebühren an manchen Flughäfen, werden auch nicht die erwünschten Ziele erzielen. Die Betreiber werden auf andere Flughäfen ausweichen. Ertragsreich wäre eine global orientierte Maßnahme, ganz egal ob technischer-, operativer- oder ökonomischer Natur.

Quellenverzeichnis

- ADV 2008** ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER VERKEHRSFLUGHÄFEN: *Verkehrsergebnisse der internationalen Verkehrsflughäfen*, 2008 – URL: http://www.adv.aero/fileadmin/pdf/Umwelt/Laerm/Grafik_Schallpegel_deutsch.pdf (2008-11-30)
- Airline Empires** AIRLINE EMPIRES WEEK IN AVIATION: *Operating Statistics*, 2009 – URL: http://www.airlineempires.net/mambo/index.php?carrier=WN&year=2005&quarter=3&option=com_content&task=view&id=51&Itemid=31 (2009-03-12)
- ATR 2009** ALENIA AERONAUTICA, *ATR Cargo Version*, 2009 – URL: <http://www.atraircraft.com/public/atr/html/media/downloadcenter.php?PHPSESSID=41e7e17472f11210fc0d812dfbdd8a23> (2009-02-15)
- Boeing 2009** BOEING COMMERCIAL AIRPLANES: *Airplane Characteristics for Airport Planning*, 2008 – URL: http://www.boeing.com/commercial/airports/plan_manuals.html (2009-01-30)
- Cargo 2009** CARGOFORUM.DE, *Frachtflugzeuge*, 2009 – URL: <http://cargoforum.de/index.php?name=Rubriken&secid=22&secartid=17> (2009-01-10)
- CTOL 2007** BOEING COMMERCIAL AIRPLANES: *Commercial Airplane Design Characteristics*, 2007 – URL: <http://www.boeing.com/commercial/airports/industrydocs/ctol.pdf> (2009-02-15)
- DCM 2009** DCM FLUGZEUGFONDS: *Die Boeing „Triple Seven“ – die neue Königin am Cargo-Himmel*, 2009 – URL: http://pdf.fondsvermittlung24.de/dcm_flugzeugfonds1_verkaufsfolder.pdf (2009-02-11)

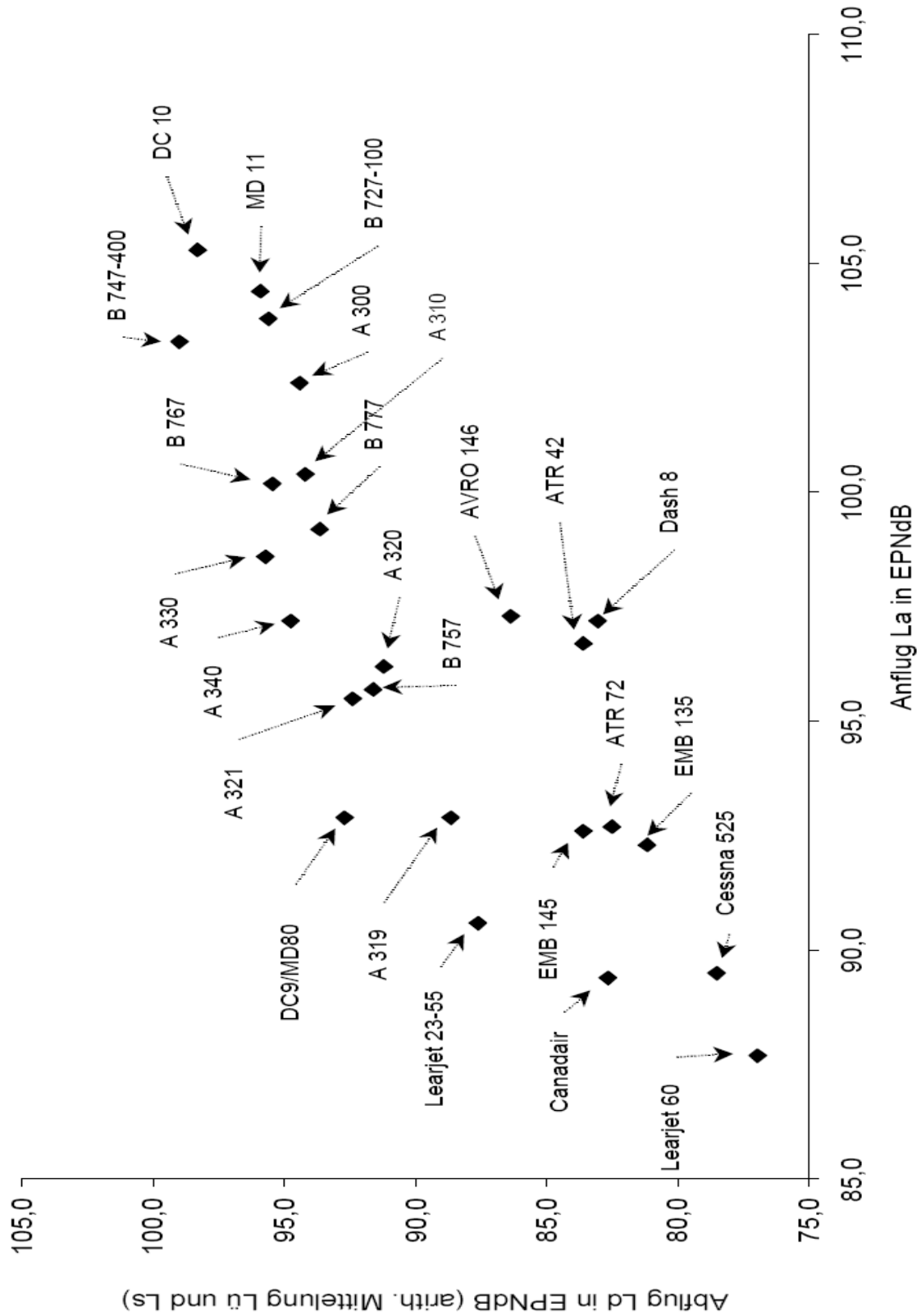
- DEGA 2009** DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR AKUSTIK: *Luftverkehrslärm*, 2007 – URL: <http://www.dega-akustik.de/ald/wissenswertes-zum-thema-larm/richt-und-grenzwerte/richt-und-grenzwerte/luftverkehrslarm> (2009-02-12)
- Destatis 2002** STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND, *Anteil der Quantitäten und Werte der im Luftverkehr beförderten Extra-EU Handelsgüter im Luftverkehr*, 2009 – URL: <http://www.eds-destatis.de> (2009-02-09)
- ECAC 2009** RECOMMENDATION ECAC/27-4, *NOx emission classification shema*, 2009 URL: <http://www.bazl.admin.ch/fachleute/01169/01173/01177/index.html?lang=en&download=M3wBUQCu/8ulmKDu36WenojQ1NTTjaXZnqWfVp3Uhmfnapmmc7Zi6rZnqCkkIN2gHx7bKbXrZ2lhtTN34al3p6YrY7P1oah162apo3X1cjYh2+hoJVn6w==.pdf> (2009-03-10)
- Ardey 2009** ARDEY, Klaus: *Frachtflugzeuge: Information*. Hamburg, 2009
- Schnieder 2009** SCHNIEDER, Hans: *Frachtflugzeuge: Information*. Airbus GmbH, Hamburg, 2009
- Quirrenbach 2009** QUIRRENBACH, Thomas: *Frachtflugzeuge: E-Mail*. Hamburg, 2009
- Tesch 2009** TESCH, Werner: *Frachtflugzeuge: Diskussion*. Hamburg, 2009
- Enviro.aero** ENVIRO.AERO, *Was machen die politischen Entscheidungsträger* 2009 – URL: <http://de.enviro.aero/was-machen-die-politischen-entscheidungstrager.aspx> (2009-02-09)
- Fraport 2009** FRAPORT AG: *Flughafenentgelte, Entgelte für Zentrale Bodenverkehrsdienst-Infrastruktureinrichtungen*. Frankfurt am Main : Fraport AG, 2004. – URL: http://www.fraport.de/cms/business_services/dokbin/330/330910.entgeltordnungairport_charges_2009.pdf, (2009-02-08)

- Gleich 2007** GLEICH, Roland (Hrsg.): *Aviation Management: Aktuelle Herausforderungen und Trends*. Berlin: Lit Verlag, 2007
- HSH 2006** HSH NORDBANK, *Internationale Luftfracht*, 2006 –URL: http://www.hsh-nordbank.de/media/pdf/marktberichte/branchenstudien/transport_1/Internationale_Luftfracht.pdf (2009-02-09)
- Leipzig/Halle 2009** FLUGHAFEN Leipzig/Halle GmbH: *Lande-,Passagier-, Sicherheits- und Abstellentgelte*. Leipzig: Flughafen Leipzig/Halle, 2009. – URL: http://www.leipzig-halle-airport.de/media/files/lej/unternehmen/lej_eo_aviation_01-01-2009_de.pdf, (2009-02-08)
- Lehmann 2008** LEHMANN, Oliver, *Zusammenfassende Darstellung der Effizienzpotenziale bei Flugzeugen unter besonderer Berücksichtigung der aktuellen Triebwerkstechnik sowie der absehbaren mittelfristigen Entwicklungen*, Berlin, Bundesministerium für Umwelt, 2008 –URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/x-download/workshop_effizienz_flugverk_studie.pdf (2009-01-10)
- LH 2008** DEUTSCHE LUFTHANSA AG, *Nachhaltigkeitsbericht*, 2008 –URL: http://www.econsense.de/CSR_MITGLIEDER/CSR_NACHHALTIGKEITSBERICHTE/images/Deutsche_Lufthansa_AG/Lufthansa_Balancen_2008_dt.pdf (2009-03-02)
- Luftfahrt 2008** LUFTFAHRT.NET, *Flugzeuge*, 2008 – URL: <http://www.luftfahrt.net/flugzeuge> (2008-12-10)
- Mäder 2008** MÄDER, Claudia, *Klimawirksamkeit des Flugverkehrs*, Dessau, Umwelt Bundesamt, 2008 –URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3473.pdf> (2009-01-10)

- Mainzer 2007** MAINZER, Frederic: *Umweltaspekte des Luftverkehrs - Möglichkeiten der Quantifizierung von Umweltfreundlichkeit im Reiseflug*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, Theoretische Arbeit, 2007. –URL: <http://bibliothek.ProfScholz.de> (2008-11-25)
- Mason 1997** MASON, W. H., *Cost (and Other Issues)*, Aerospace and Ocean Engineering, 1997 –URL: http://www.aoe.vt.edu/~mason/Mason_f/SD1L11.pdf (2009-01-10)
- MergeGlobal** MERGEGLOBAL: *End of an Era*, USA, 2008 – URL: HTTP://WWW.MERGEGLOBAL.COM/ARTICLES/2008-08_END-OF-AN-ERA.PDF (2009-02-24)
- Meyer 2004** MEYER, Sylvia: *Ein Vergleich von DOC-Methoden hinsichtlich der Kosten für Gebühren*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachbereich Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau, Theoretische Arbeit, 2004. –URL: <http://bibliothek.ProfScholz.de> (2008-11-25)
- Mildt 2000** MILDT, Carsten :*Entwicklung einer Methode zur Abschätzung der Kosten für die Instandhaltung der Flugzeugzellen und –systeme im kommerziellen Flugverkehr*. Berlin, Technische Universität Berlin, Studienarbeit, 2000. –URL: http://www.dfld.de/Downloads/20000725_Wartungskosten.pdf (2008-11-25)
- München 2008** FLUGHAFEN München GmbH: *Entgeltordnung*. München: Flughafen München GmbH, 2009. – URL: <http://www.mdc.com/commercial/noise/MUCJan2008.pdf>, (2009-02-08)
- ÖKO 2004** ÖKO-INSTITUT, *Ökonomische Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltauswirkungen des Flugverkehrs: Lärmabhängige Landegebühren*, Berlin 2006 –URL: <http://www.dfld.de/Presse/PMitt/2008/080514cG.pdf> (2009-02-09)

- Pfüller 2002** PFÜLLER, Steven: *Entwicklung eines Verfahrens zur Optimierung des Betriebs von Regionalverkehrsflugzeugen unter Berücksichtigung besonderen operationeller Aspekte*, Berlin, Technische Universität Berlin, Studienarbeit, 2002. –URL: http://www.ilr.tu-berlin.de/LB/fed/Diplomarbeiten/Themen/pdf/da_pfueller.pdf
(2009-03-15)
- Pilot 2009** WILL FLY FOR FOOD, *Airline Pilot Pay Rates*, 2009 – URL: <http://www.willflyforfood.com/airlinepilotpay/> (2009-01-13)
- Scholz 1999** SCHOLZ, Dieter: *Skript zur Vorlesung Flugzeugentwurf*. Hamburg, Hochschule für Angewandte Wissenschaften: 1999
- Stanger 2009** STANGER, SEBASTIAN: *Vor- und Nachteil Luftfracht*, 2009 – URL: www.logistikbranche.net/dossier/vorteil-nachteil-luftfracht.html
(2009-02-12)
- UBA 2008** UMWELTBUNDESAMT, *Verkehr*, 2008 –URL: <http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/veranstaltungen/kifeu.htm>
(2009-01-22)

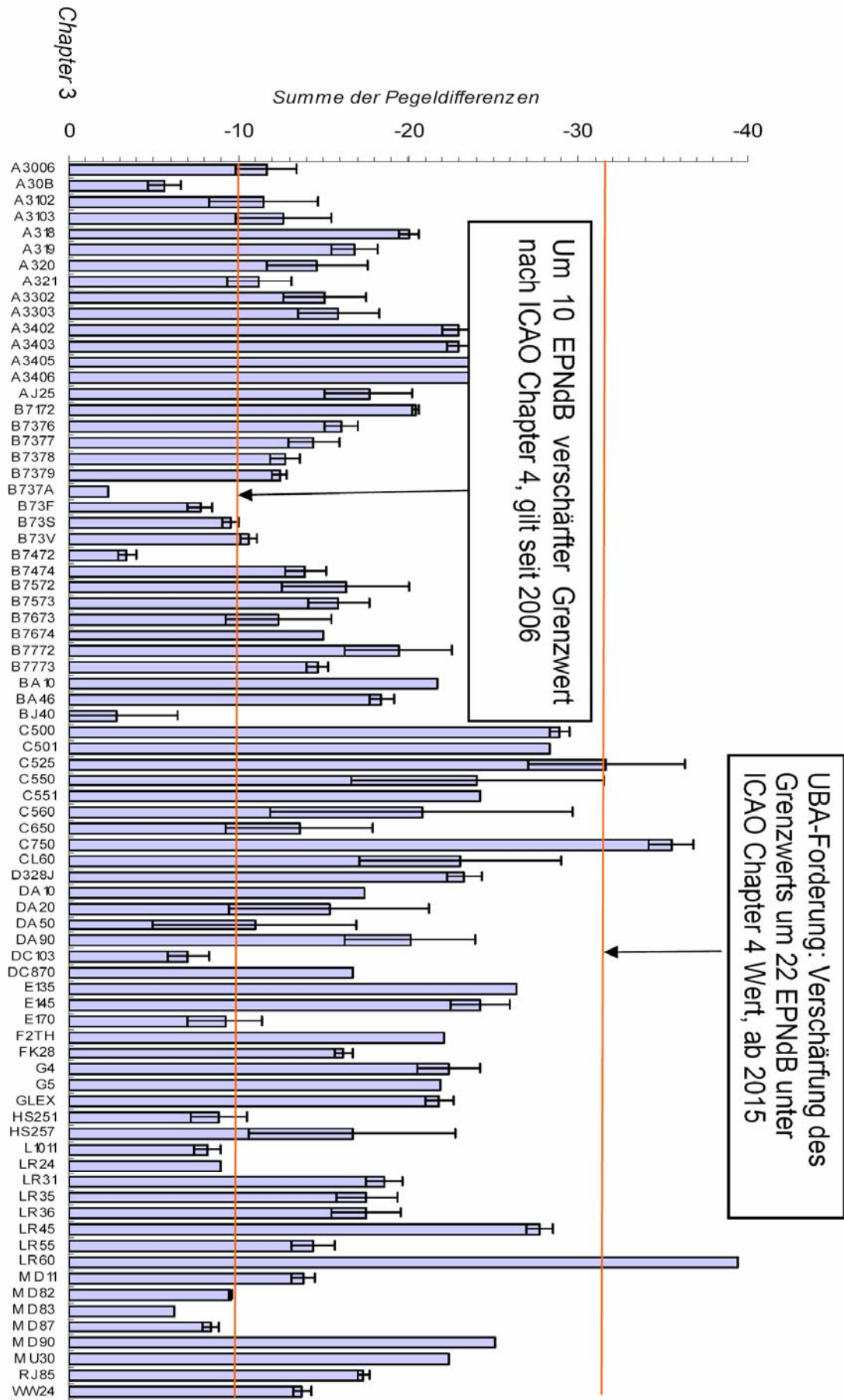
Anhang A



A.1 Lärmesswerte für An- und Abflüge verschiedener Flugzeugmuster

Flugzeugtyp	MTOW (in t)	Anzahl der Triebwerke	Lärmpegel gemäß Lärmzertifizierung nach ICAO-Anhang 16 (in EPNdB) Umrechnung: $\text{dB(A)} \approx \text{EPNdB} - 13$		
			Start	Seitenlinie	Landung
Mit Strahlantrieb					
A 380-800	560	4	93,7	95,3	97,9
B 747-400	386	4	99,0	98,3	103,3
MD 11	280	3	93,8	96,4	104,1
A 340-300	254	4	94,4	94,7	97,2
A 340-600	368	4	93,5	95,5	99,9
B 777-200	243	2	90,9	95,1	99,2
A 330-300	212	2	91,6	97,4	98,6
B 767-300	185	2	93,2	97,0	100,2
A 300-600	165	2	89,8	96,7	99,9
A 310-300	153	2	88,0	94,7	98,4
B 757-200	109	2	88,1	93,8	97,2
A 321-100	83	2	86,9	95,5	95,4
A 320-200	74	2	88,0	94,4	96,2
B 737-800	79	2	88,6	92,1	96,5
MD 87	68	2	89,2	97,1	93,3
A 319-200	64	2	83,8	92,3	92,8
B 737-500	53	2	83,8	89,9	99,8
Avro RJ 85	44	4	84,3	88,4	97,3
Fokker 100	43	2	83,4	89,3	93,1
Embraer 170	36	2	83,0	94,1	98,1
Canadair RJ	23	2	78,6	82,2	92,1
Mit Propellerturbinen					
Saab 2000	23	2	79,1	86,9	87,9
ATR 72-200	22	2	86,5	84,7	94,1
Fokker 50	20	2	86,8	90,5	94,2
Dash 8-300	19	2	79,8	87,0	96,3
ATR 42-300	16	2	82,6	83,8	96,8
Dash 8-100	16	2	79,8	86,1	97,5
Dornier 328	14	2	82,7	83,8	94,8
Saab 340	12	2	77,3	86,0	90,8
Embraer 120	11	2	81,3	84,0	92,7

A.2 Lärmpegel verschiedener Flugzeugmuster

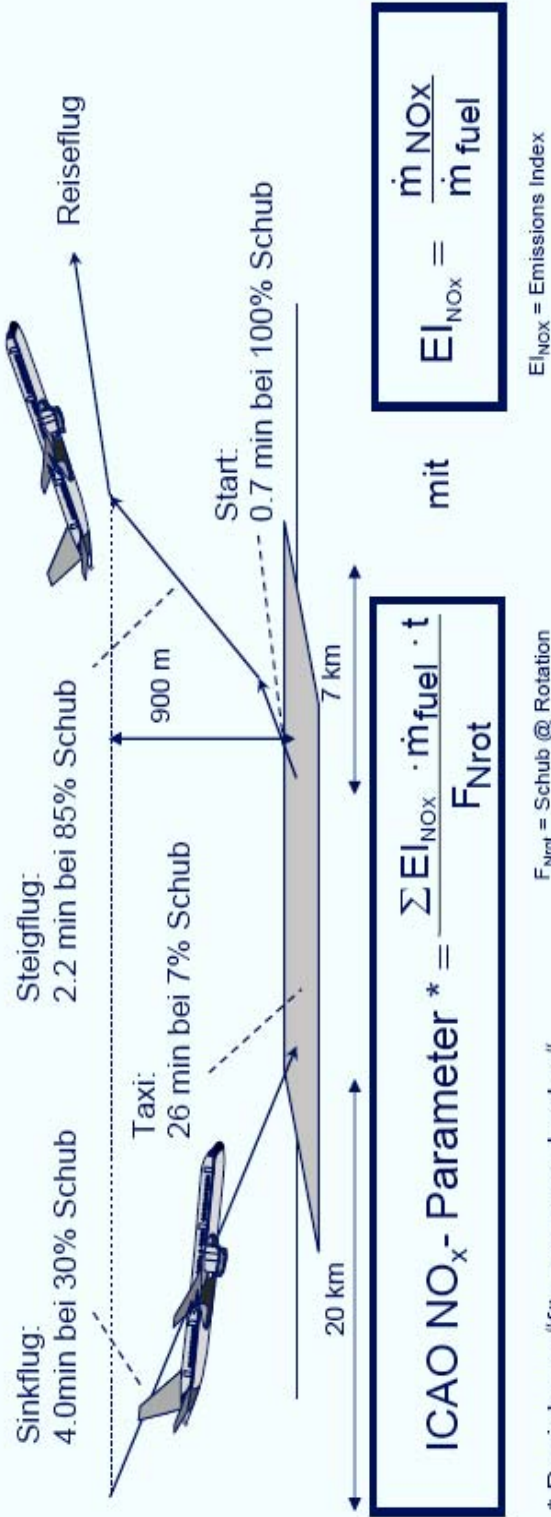


A.3 Chapter 3- und Chapter 4-Grenzwerte

Anhang B

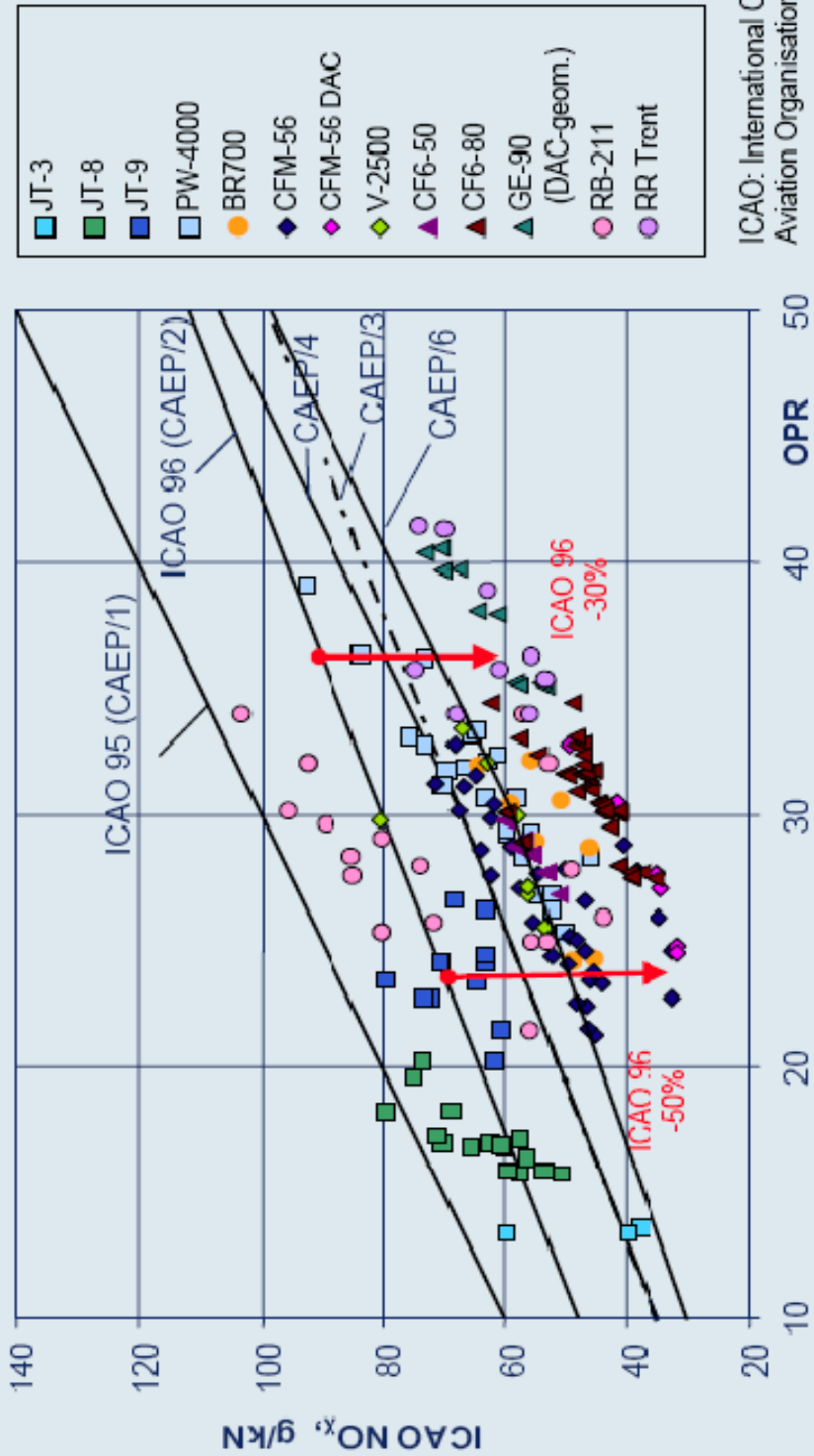
Emissions Regeln und Standard LTO Zyklus

- Heutige ICAO Emissions-Regeln auf Basis des ICAO Parameters, definiert für bodennahe Emissionen
- Betrachtung einer Kombination verschiedener Flug Bedingungen im "Standard LTO-cycle" (landing and take off)
- Festlegung zulässiger Grenzwerte abhängig vom Gesamtdruckverhältnis OPR des Twk-Kreisprozesses
- Messung des ICAO Parameters bei statischen Triebwerksbedingungen am Boden
- Einbezug von Reiseflug in ICAO Emissions-Regeln angestrebt (vmtl. nach CAEP/6)



* Beziehung "für measured value"

Brennkammer Status: ICAO NO_x- Charakteristik (ICAO Datenbasis)



ICAO: International Civil Aviation Organisation

CAEP: Committee on Aviation Environmental Protection

CAEP/3: all engines (from 2007)
 CAEP/4: new engines (from 2003)
 CAEP/6: certification date aft 2008) } for ICAO LTO-cycle

B.2 ICAO NO_x - Charakteristik

8 Anhang

Tabelle 8-1: Treibstoffverbrauch und spezifische Emissionen für unterschiedliche Betriebszustände je Flugzeugtyp und Triebwerk. Die Emissionsfaktoren, die für die Emissionsberechnung bei PROP-Triebwerken verwendet werden, sind fett dargestellt. Quelle: ICAO-Datenbank

Typ	Triebwerk	Wich- tung	Treibstoffverbrauch				NO _x				CO				HC			
			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
P 2.1, P 2.2																		
ATR 42/72, Short 360, AN12	Mittleres PROP-1	1,0	11,7	8,1	4,2	0,9	2,19	5,04	11,20	1,26	689,23	484,94	625,82	689,23	7,03	5,71	6,79	34,24
	Mittleres PROP-1	1,0	55,3	49,6	28,2	14,6	9,12	8,26	8,89	2,93	1,25	14,13	43,39	1,25	0,08	0,11	1,35	33,65
	Mittleres PROP-2	1,0	172,4	154,8	80,1	48,9	4,38	3,56	1,41	0,82	2,00	17,72	52,17	2,00	1,52	0,47	0,11	16,05
	Mittleres PROP-2	1,0	172,4	154,8	80,1	48,9	4,38	3,56	1,41	0,82	2,00	17,72	52,17	2,00	1,52	0,47	0,11	16,05
	Mittleres PROP-2N	1,0	125,5	111,3	62,8	37,0	8,37	7,52	5,16	3,17	15,74	17,32	31,81	15,74	0,11	0,16	1,08	11,10
S 3.2			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
AN124	ZMKB Pro- gressD-18T	1,0	2212,8	1861,0	737,0	200,0	26,0	22,0	9,0	5,5	0,5	0,4	2,7	20,7	0,0	0,0	0,0	5,4
S 5.1			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
CRJ	5GE084 CF34-3B1	1,0	399,1	328,8	116,0	48,9	11,3	9,7	6,6	3,7	0,0	0,0	1,9	47,6	0,1	0,1	0,1	4,7
BAE 146	1TL003 ALF502R-5	0,6	358,1	295,5	103,4	40,8	13,4	10,6	6,6	3,8	0,3	0,3	7,1	40,9	0,1	0,1	0,2	5,4
	1TL004 LF507-1F	0,4	357,8	296,1	108,3	45,3	14,5	12,0	6,4	3,3	0,2	0,3	4,4	37,8	0,0	0,0	0,1	4,7
S 5.2			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
B737-600/ -700	3CM031 CFM56-7B22	0,4	1021,0	844,0	298,0	105,0	23,1	19,0	10,0	4,5	0,5	0,6	2,5	22,8	0,1	0,1	0,1	2,5
	3CM032 CFM56-7B24	0,6	1103,0	910,0	316,0	109,0	25,3	20,5	10,1	4,4	0,4	0,6	2,2	22,0	0,1	0,1	0,1	2,4

C9 Gutachten über Schadstoffausbreitung

36

Typ	Triebwerk	Wich- tung	Treibstoffverbrauch				NO _x				CO				HC			
			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
B737-800	3CM034 CFM56-7B27	1,0	1284,0	1043,0	349,0	116,0	30,9	23,7	11,0	4,8	0,2	0,5	1,4	17,9	0,1	0,1	0,1	1,7
B757-200	4PW073 PW2040	0,55	1752,0	1445,0	496,0	159,0	35,0	26,6	10,5	4,4	0,3	0,4	1,4	20,0	0,0	0,0	0,1	1,7
	5RR039 RB211-535B4	0,45	2070,0	1640,0	550,0	190,0	25,9	19,3	8,7	4,6	0,3	0,3	2,4	18,2	0,1	0,0	0,1	0,1
B757F	4PW073 PW2040	0,55	1752,0	1445,0	496,0	159,0	35,0	26,6	10,5	4,4	0,3	0,4	1,4	20,0	0,0	0,0	0,1	1,7
	5RR039 RB211-535B4	0,45	2070,0	1640,0	550,0	190,0	25,9	19,3	8,7	4,6	0,3	0,3	2,4	18,2	0,1	0,0	0,1	0,1
A319	4CM036 CFM56-5A5	1,0	972,0	799,0	276,0	98,0	24,8	20,0	8,9	4,3	1,1	1,1	2,8	18,5	0,2	0,2	0,5	1,5
A320	1CM008 CFM56-5-A1	1,0	1051,0	862,0	291,0	101,1	24,6	19,6	8,0	4,0	0,9	0,9	2,5	17,6	0,2	0,2	0,4	1,4
AN72	1ZM001, ZMKB ProgressD-36	1,0	634,0	533,0	211,0	100,0	26,0	22,0	9,0	5,5	0,5	0,4	2,7	20,7	0,0	0,0	0,0	5,4
S 6.1			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
B767-300	2GE044 CF6-80C2B6	1,0	2580,0	2096,0	672,0	205,0	28,6	21,7	12,5	4,8	0,1	0,0	1,9	18,9	0,0	0,1	0,1	1,5
B767F	1PW059 PW4026	0,5	2767,0	2166,0	708,0	223,0	37,7	27,6	12,8	4,1	0,4	0,5	1,7	24,0	0,1	0,1	0,2	3,3
	3GE058 CF6-80C2B8F	0,5	2605,0	2117,0	688,0	205,0	26,9	20,9	12,6	4,8	0,1	0,0	2,0	18,3	0,1	0,1	0,1	1,4
A300F	2GE038 CF6-80C2A3	0,5	2516,0	2041,0	662,0	203,0	27,7	21,1	12,5	4,7	0,1	0,0	2,0	19,3	0,0	0,1	0,1	1,5
	1GE017 CF6-80C2A3	0,5	2457,0	2003,0	649,0	202,0	34,4	25,5	10,0	4,0	0,6	0,6	2,2	42,2	0,1	0,1	0,2	9,2
S 6.2			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
MD11/DC10	2GE049 CF6-80C2D1F	1,0	2629,0	2126,0	688,0	205,0	28,1	21,3	12,7	4,9	0,1	0,0	1,9	18,0	0,0	0,1	0,1	1,4
S 7			T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle	T/O	C/O	App	Idle
B747F	1GE024 CF6-80C2B1F	0,5	2341,0	1901,0	621,0	199,0	27,7	21,1	9,0	3,8	0,5	0,5	2,2	44,3	0,1	0,1	0,2	9,9
	2GE045 CF6-80C2B1F	0,5	2422,0	1983,0	650,0	199,0	24,9	19,7	12,5	4,7	0,0	0,0	2,1	19,2	0,1	0,1	0,1	1,5

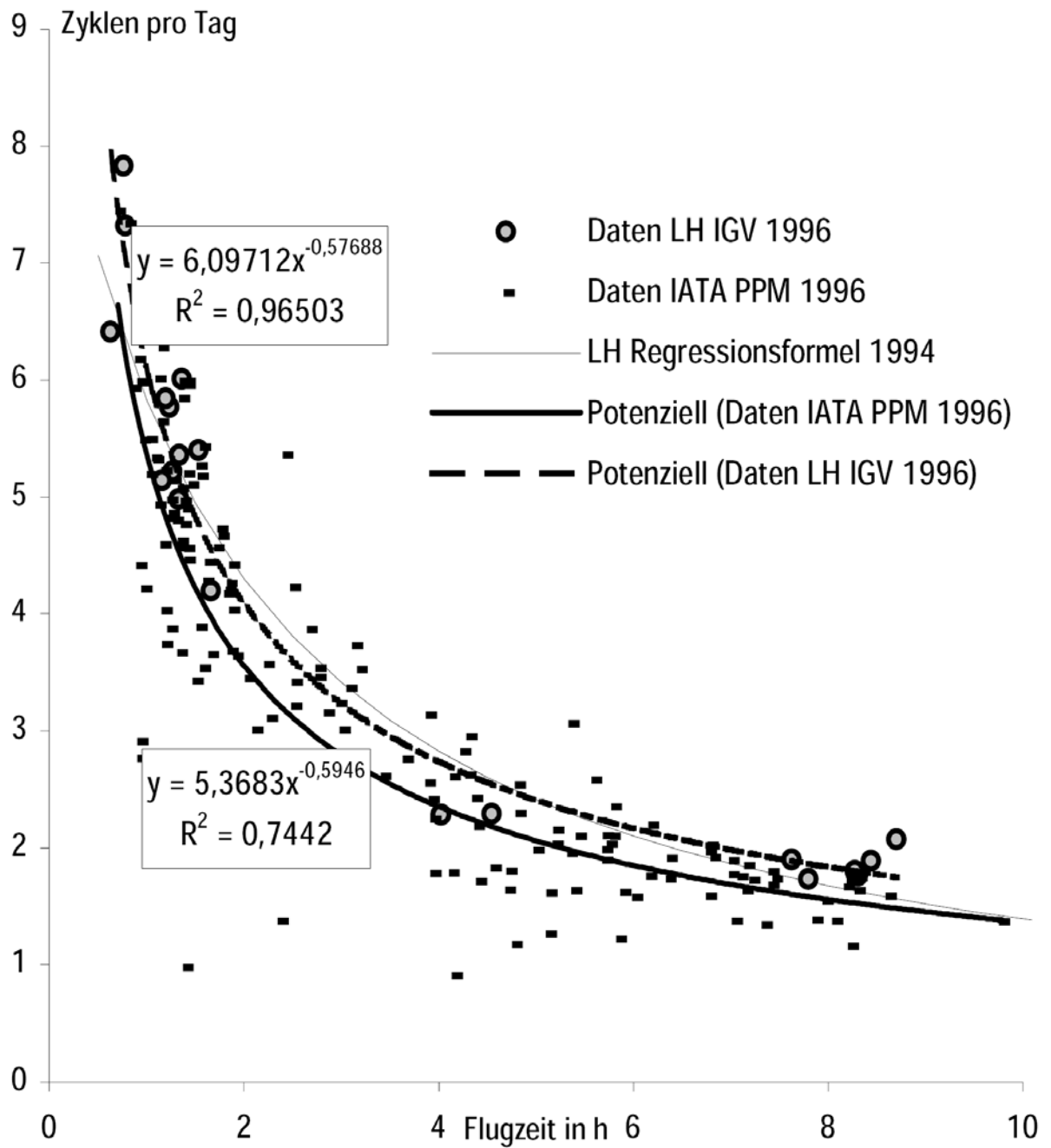
C9 Gutachten über Schadstoffausbreitung

37

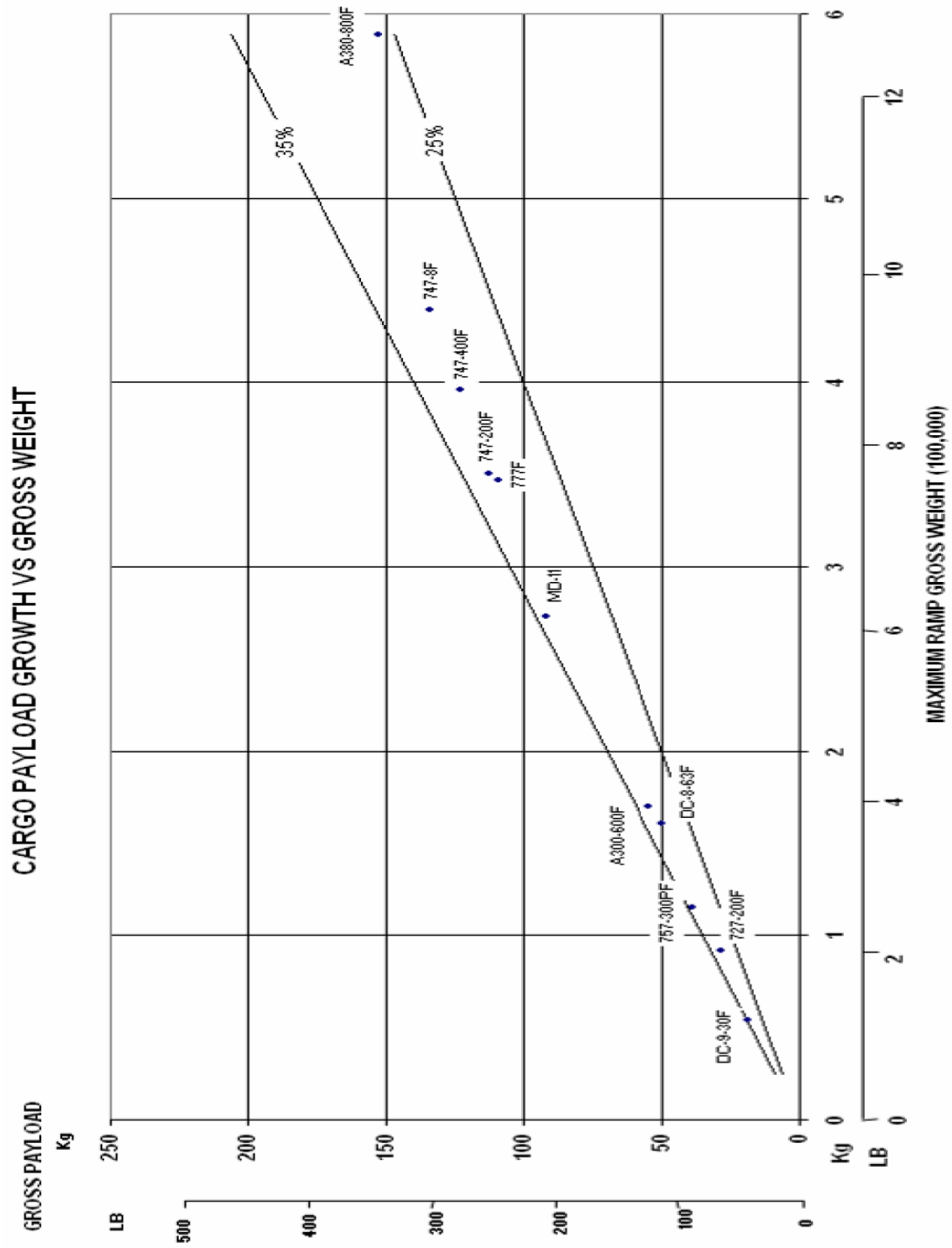
B.3 Spezifische Emissionswerte für unterschiedliche Betriebszustände je Flugzeugtyp

Anhang C

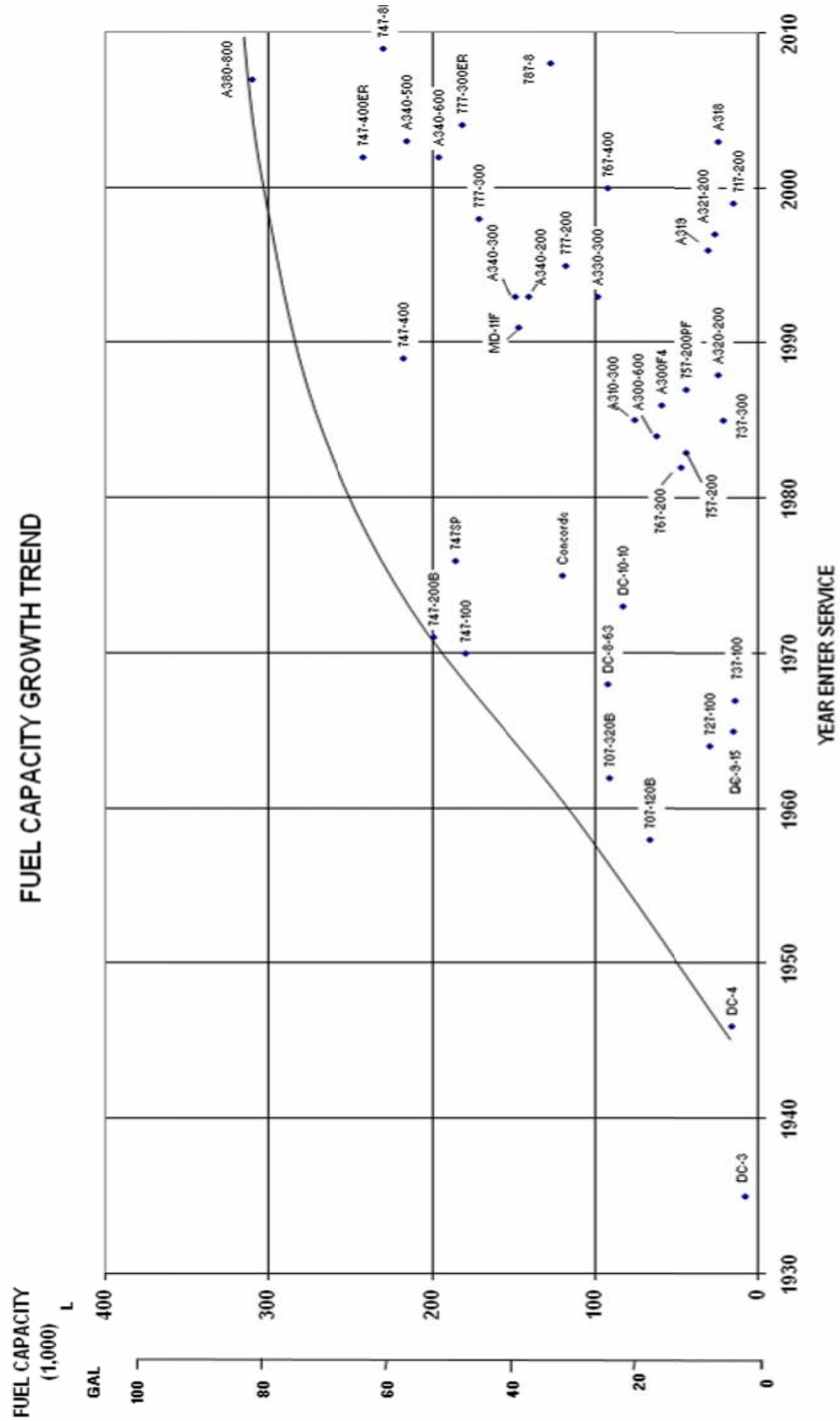
Flugzeit über Zyklen



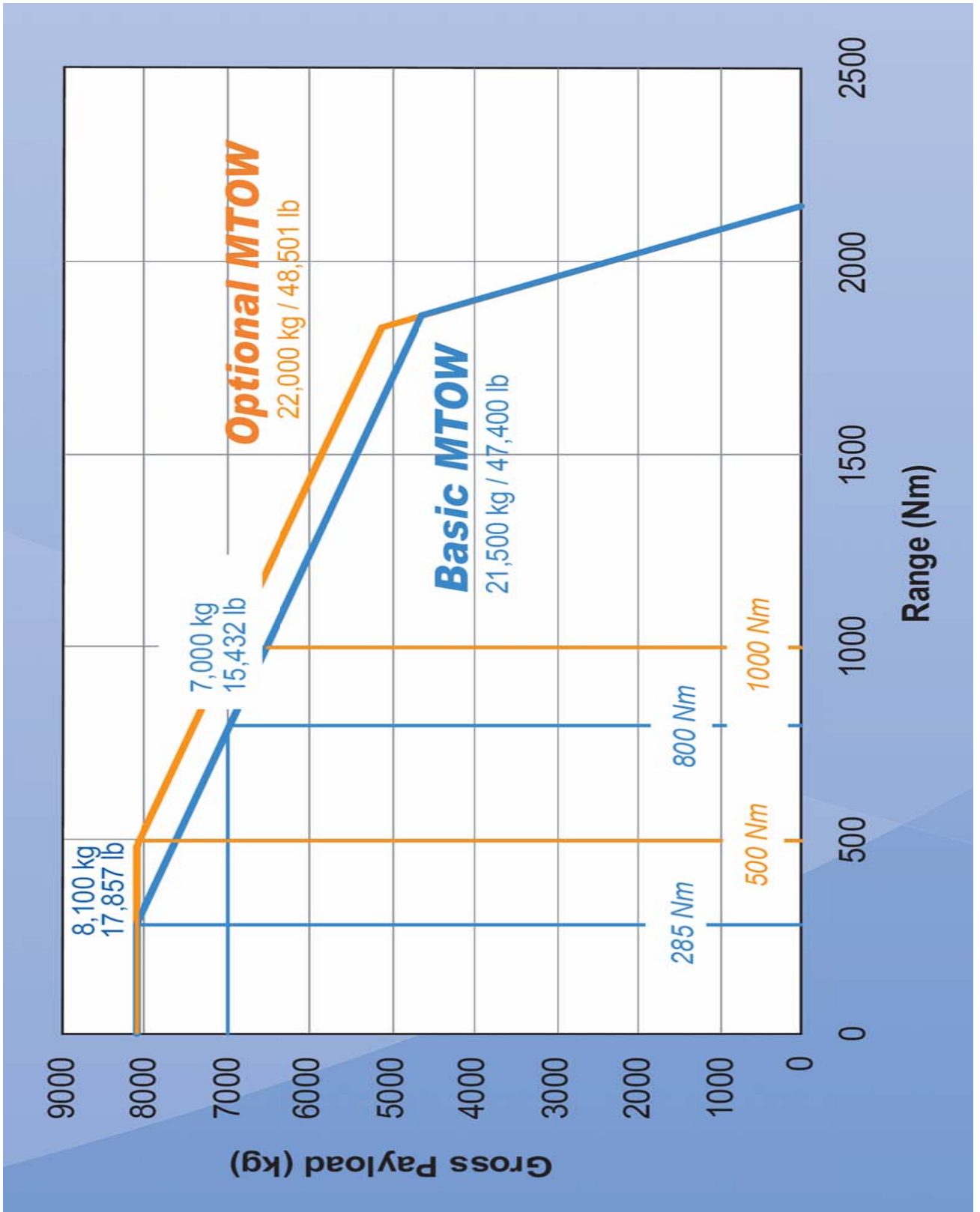
Anhang D



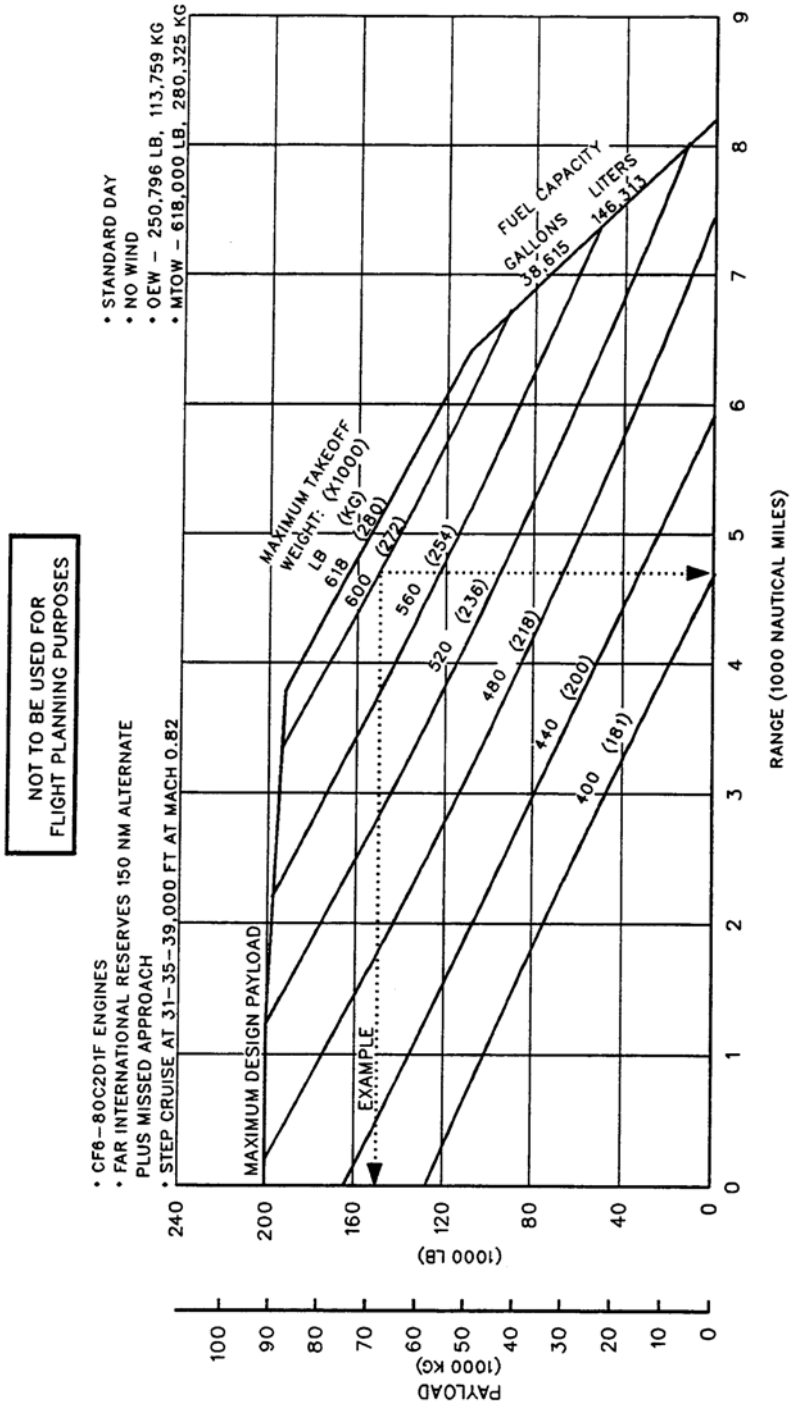
D.1 Angaben über Nutzlast und max. Abfluggewicht



D.2 Angaben über Nutzlast, max. Abfluggewicht, Dienstjahr und Kraftstoffvorrat verschiedener Flugzeugmuster

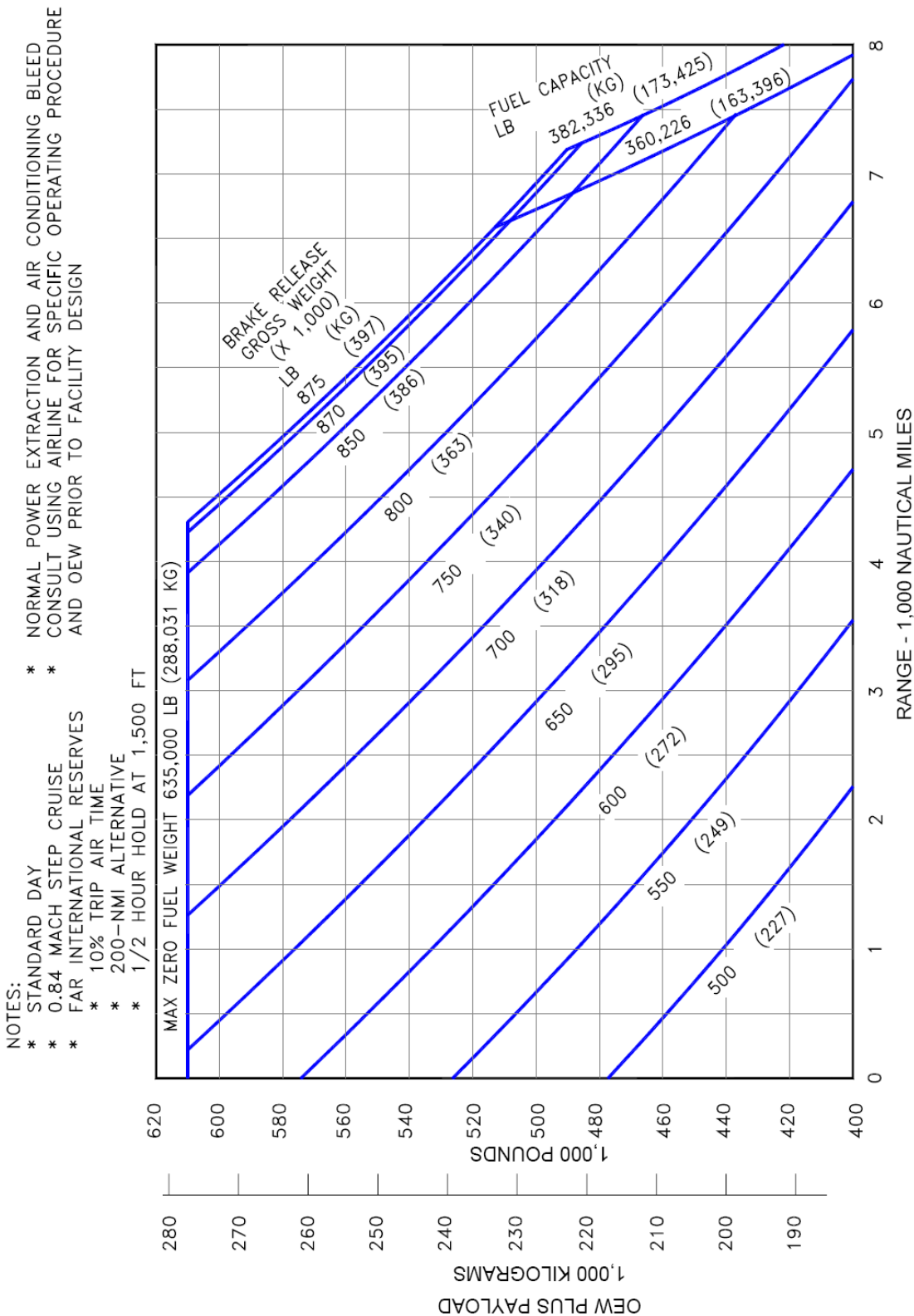


D.3 Payload-Range Model ATR-72F



**3.2 PAYLOAD-RANGE
3.2.7 GE ENGINE
MODEL MD-11 FREIGHTER**

D.4 Payload-Range Model MD-11F



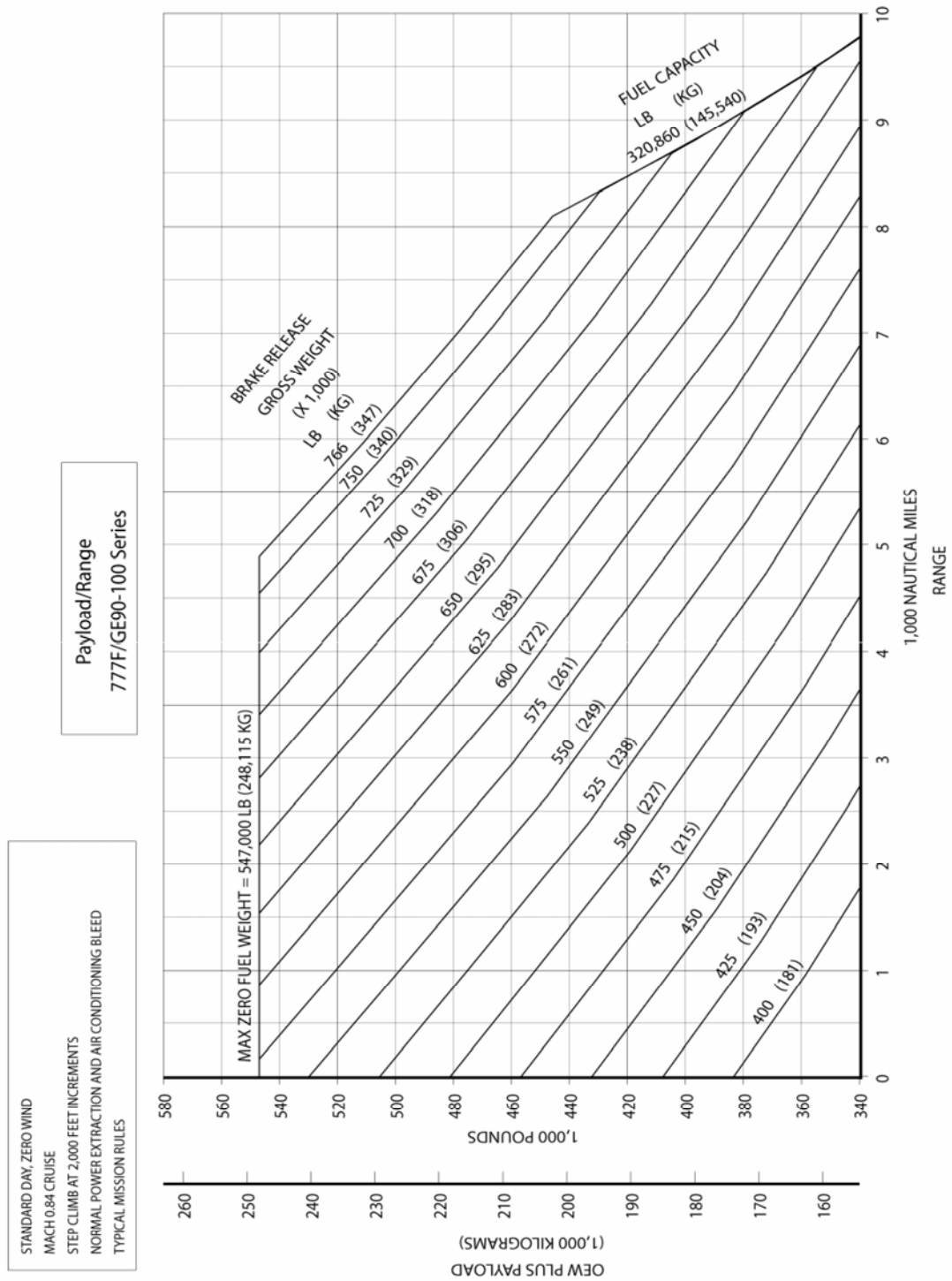
3.2.4 PAYLOAD/RANGE FOR 0.85 MACH CRUISE
 MODEL 747-400 FREIGHTER (CF6-80C2B1F ENGINES)

D6-58326-1

58 DECEMBER 2002

D.5 Payload-Range Model B747-400F

PRELIMINARY FOR 777 FREIGHTER



3.2.3 PAYLOAD/RANGE FOR 0.84 MACH CRUISE
MODEL 777F

D6-58329-2

DECEMBER 2008

D.6 Payload-Range Model B777F