

OPTIMIERUNGEN IN FLUGPLANUNG UND FLUGDURCHFÜHRUNG ZUR STEIGERUNG DER TREIBSTOFFEFFIZIENZ BEI DER DEUTSCHEN LUFTHANSA

S. Hollmeier, M. Michel, C. Zickler

Deutsche Lufthansa AG
60546 Frankfurt / Main

ÜBERSICHT

Die Steigerung der Treibstoff-Effizienz, Daueraufgabe von Fluggesellschaften, gewinnt durch die hohen Rohölpreise an Dringlichkeit. Das Projekt Fuel Saving der Deutschen Lufthansa beschäftigt sich fachbereichsübergreifend u.a. mit Maßnahmen zur Optimierung der Flugplanung und der Flugdurchführung. Vorgestellt wird eine erweiterte Cost Index Betrachtung für Langstreckenflüge sowie eine ankunftszeitorientierte Flugplanung mit Hilfe variabler Cost Indizes. Als weitere Maßnahme wird die statistische Auswertung benötigter Extra Fuel Mengen beschrieben, die eine zusätzliche Entscheidungshilfe bei der Treibstoff-Bestellung darstellt.

1. EINLEITUNG

Im Jahr 2005 wird die Lufthansa voraussichtlich rund 2,6 Mrd. € allein für Treibstoff ausgeben, mehr als doppelt so viel, wie noch zwei Jahre zuvor. Grund genug, sich auch zum wiederholten Male mit dem Thema Treibstoffeinsparung auseinander zu setzen. Im September 2004 wurde das Projekt „Fuel Saving“ gestartet, das sich fachbereichsübergreifend mit allen Aspekten der Treibstoffeffizienz beschäftigt. Wesentliche Hebel sind dabei (a) Gewichtsreduktion und Schwerpunktfrage, (b) Optimales Flugprofil, (c) Effizientes Fluggerät, (d) Infrastrukturverfügbarkeit und (e) Optimale Angebotsstruktur.

Neben den großen Potenzialen wird auch eine Vielzahl von kleineren Maßnahmen verfolgt. Lassen sich pro Langstreckenflug nur 100 kg sparen – was nicht einmal der Ablesegenauigkeit der Instrumente entspricht – so addiert sich das für Lufthansa am Ende des Jahres bereits auf über 2 Mio. €. Pro Kurzstreckenflug reichen 20 kg für weitere 2 Mio. €. An dieser Stelle soll jedoch insbesondere auf die Optimierung des Flugprofils (Höhe und Geschwindigkeit) und auf die Optimierung der Betankungsmenge eingegangen werden.

Dass Treibstoffeinsparung nicht auf Kosten der Sicherheit geschehen darf, versteht sich von selbst. Einsparungen auf der Treibstoffseite dürfen aber auch nicht zu Lasten anderer Kostenblöcke (Technikkosten, Personalkosten, ...) erfolgen. Gesucht ist immer das Gesamtkostenoptimum. Damit darf auch die Pünktlichkeit nicht leiden, auch wenn hier unbestreitbar die größten Potenziale zu realisieren wären. Dieser Zielkonflikt lässt sich jedoch nicht auflösen: Es kann immer noch sinnvoll sein, nach einem Flug, der „Behind Schedule“ mit erhöhter Geschwindigkeit und entsprechend hohem Verbrauch durchgeführt wurde, z.B. zum Taxi-In ein Triebwerk abzuschalten und somit einen kleinen Beitrag zum Treibstoffsparen zu leisten.

2. COST INDEX

Der Cost Index setzt als Kennziffer die flugzeitabhängigen Kosten eines Fluges (insbesondere Anteile der Crew-Personal- und Maintenancekosten) und die Kerosinkosten ins Verhältnis:

$$CostIndex = \frac{Cost_{Time} [€/min]}{Cost_{Fuel} [€/kg]}$$

Gleichzeitig stellt der Cost Index eine Funktion des Flight Management Systems (FMS) dar, um mit Hilfe variabler Fluggeschwindigkeiten Flugzeit und Verbrauch integriert zu optimieren. Der Quotient aus Zeit- und Fuelkosten ist dabei ein Eingangsparameter des ECON-Algorithmus des FMS, um das Gesamtkostenoptimum des Fluges zu erreichen.

Wird dagegen dem FMS die zu fliegende Fluggeschwindigkeit (Machzahl) vorgegeben, so variiert es lediglich die Optimum Altitude und damit die empfohlenen Step Climbs, um einen möglichst verbrauchsarmen Flug zu erreichen. Im Cost Index Modus (bzw. ECON Speed Modus) wird den Algorithmen als weiterer Freiheitsgrad zur Optimierung die Fluggeschwindigkeit gegeben.

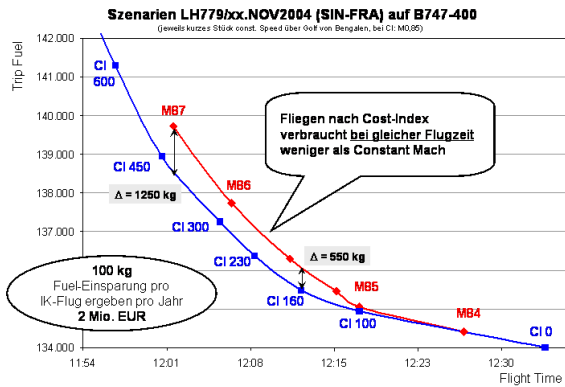


Bild 1: Einsparpotenzial durch Cost Index ggü. konstanter Machzahl am Beispiel eines Fluges Singapur-Frankfurt

Dies führt z.B. dazu, dass durch Gegenwindfelder schneller geflogen wird als durch Rückenwindgebiete. Auch verändert sich die Geschwindigkeit mit abnehmendem Gewicht und folgt somit besser der Performance-Charakteristik des Flugzeugs. In manchen Fällen mag es zum früheren Ankommen sinnvoller sein, tiefer zu fliegen, als die Geschwindigkeit zu erhöhen. Auch wenn das FMS ohne Frage an der einen oder anderen Stelle an seine Leistungsgrenzen stößt, ist Cost Index Fliegen grundsätzlich Constant Mach vorzuziehen. Nicht anwendbar ist diese Funktionalität in speziellen Lufträumen, beispielsweise über dem Nordatlantik, in denen zur zuverlässigen Separierung mit konstanten Machzahlen geflogen werden muss.

Bild 1 zeigt eindrucksvoll, dass ein Flug mit variablen Geschwindigkeiten nach Cost Index bei gleicher Flugzeit deutlich treibstoffeffizienter ist als ein Flug mit konstanter Geschwindigkeit/Machzahl.

3. ERWEITERTE COST INDEX BETRACHTUNG UND VARIABLE SPEED OPERATIONS (VSOPS)

Die Cost Index Funktionalität ist dazu gedacht, bei gegebener Kostenstruktur aus zeitabhängigen Personal- und Technikkosten ein Gesamtoptimum anzunähern. Statt jedoch nur eine feste ECON-Einstellung zu verwenden kann der Cost Index genauso gehandhabt und angepasst werden wie die Speed- (Machzahl-) Einstellung. Der Zahlenwert des Cost Index bezieht dabei das Verhältnis von „Zeitkosten“ zu „Fuelkosten“ oder übersetzt: Wie viel wert ist eine um 1 Minute kürzere Flugzeit? Und wie teuer ist der dafür erforderliche Treibstoff?

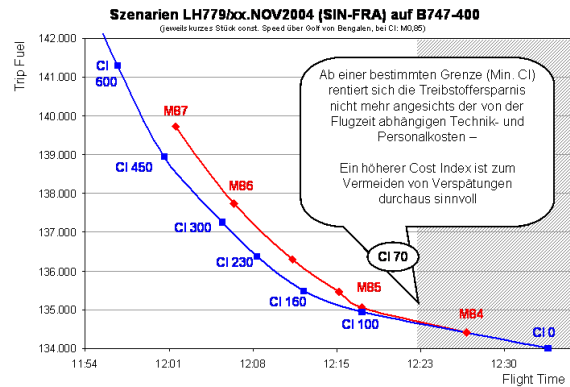


Bild 2: Begrenzung des Cost Index (CI min) durch flugzeitabhängige Kosten

Hat man „Luft“ im Flugplan, z.B. durch günstige Winde, lohnt sich das langsamere Fliegen solange der eingesparte Treibstoff teurer ist als die Technik- und Personalkosten, die mit steigender Flugzeit zunehmen. Dieser Punkt bestimmt den minimal anzuwendenden Cost Index (Bild 2) und entspricht der bisherigen Cost Index / ECON-Definition. Für Airbus A330/340 wurde dieser minimale Cost Index Wert derzeit auf 30 festgelegt, für B747-400 derzeit auf 70, wobei bei Boeing die Cost Index Definition nicht auf dem metrischen System beruht und die Zahlenwerte nicht direkt vergleichbar sind.

Droht allerdings eine Verspätung, bei der Fluggäste ihre Anschlussflüge verpassen (Misconnex), oder das Flugzeug nicht pünktlich den Folgeflug beginnen kann (Rotation Delays) und sonstige Verspätungs- Folgekosten, ist 1 Minute Zeitersparnis plötzlich deutlich mehr wert als die reinen Personal- und Technikkosten. Erst wenn trotz hohem Mehrverbrauch kaum noch Zeit gewonnen wird, kippt auch diese Rechnung (Bild 3).

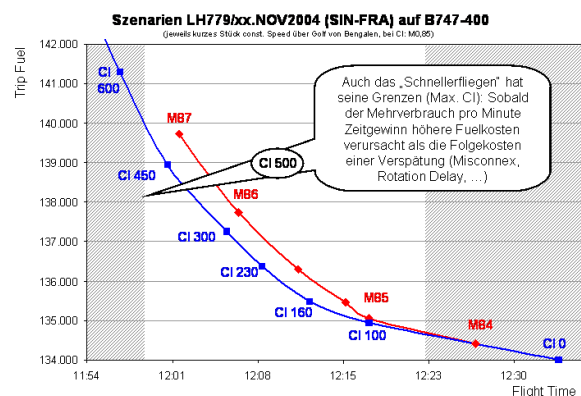


Bild 3: Begrenzung des Cost Index (CI max) durch Verspätungs-Folgekosten

Theoretisch sieht die Betrachtung für jeden einzelnen Flug unterschiedlich aus, abhängig von den tatsächlichen Transferpassagierzahlen und Transferzeiten, aber auch von der Lage des Anschlussgates, der Sitzreihe der Passagiere (Deboardingzeiten) u.v.m. Auch die Kosten, die bei einem Misconnex entstehen, variieren erheblich. Muss der Gast ins Hotel, wird er auf die Konkurrenz umgebucht, oder kann er evtl. bereits eine Stunde später den nächsten Anschlussflug nehmen? In der Praxis muss zur Definition eines maximalen Cost Index mit Mittelwerten gerechnet werden.

Eine verhältnismäßig zuverlässige Abschätzung der Folgekosten für einen Langstreckenflug geht von einem „verlorenen“ Anschluss-Passagier pro Minute Ankunftsverspätung aus, mit jeweils Folgekosten von 100€. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass nicht wenige Passagiere Transferzeiten von drei oder gar vier Stunden haben und dass sich somit eine höhere Geschwindigkeit auch noch bei drei Stunden Verspätung rechnet (Bild 4). Für Airbus A330/340 ergibt sich damit derzeit ein maximaler Cost Index von 250, für Boeing von 500.

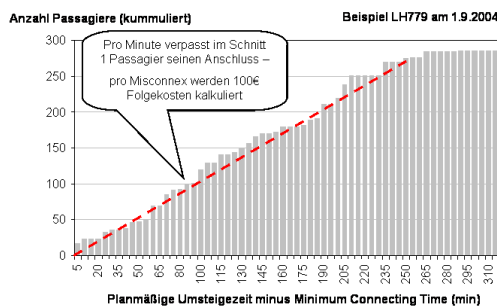


Bild 4: Durchschnittliche Passagier-Transferzeiten bestimmen einen Teil der anzusetzenden Folgekosten bei Verspätung

Während bei Lufthansa die Kurzstreckenflügen (Europaverkehr) bereits seit einigen Jahren mit Standard - Cost Index geplant und geflogen wurden, hielt man bislang auf der Langstrecke an konstanten Machzahlen fest. Die tatsächlichen Flugzeiten wichen bei Langstreckenflügen zum Teil erheblich von den im Flugplan den Passagieren kommunizierten Flugzeiten ab (insbesondere durch saisonale Wind-einflüsse). Um Verspätungen möglichst gering zu halten und Passagieranschlüsse zu garantieren, wurde sowohl in der operationellen Flugplanung (Streckenfestlegung, Höhenprofil, Flugzeiten, Treibstoffverbrauch, etc. zwei bis drei Stunden vor Abflug) als auch in der tatsächlichen Flugdurchführung in der Regel die Reiseflug-Machzahl erhöht.

Um dennoch die Einsparpotenziale durch Cost-Index Fliegen realisieren zu können, wurde die Planungsmethodik auf variablen Cost Index –

optimiert auf pünktliche Ankunft hin – umgestellt (Variable Speed Operations, VSOPS):

Von dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster zwischen geplanter Off-Block-Zeit (Verlassen der Parkposition) und geplanter On-Block-Zeit (Erreichen der Parkposition) werden zunächst die durchschnittlich benötigten Taxi-Out- und Taxi-In-Zeiten (Rollzeiten) abgezogen. Im operationellen Flugplan wird der Cost Index (innerhalb der o.g. Grenzen zwischen CI_{min} und CI_{max}) variiert, so dass das verbleibende Zeitfenster für den reinen Flug möglichst genau getroffen wird, sprich so, dass Touchdown-Zeit plus durchschnittlicher Taxi-In Zeit genau der geplanten Ankunftszeit an der Parkposition entspricht.

Wie in der Flugplanung, wird dann auch im Flug primär auf eine pünktliche Ankunftszeit hin gezielt. Unter Berücksichtigung der vielfältigen Abweichungen vom vorausgerechneten Flugplan (tatsächliche Beladung/Gewicht/Schwerpunkt, Delays, tatsächliche Rollzeiten, ATC- und wetterbedingte Abweichungen von Streckenführung und Höhenprofil, etc.) sowie möglicherweise erwarteten Holdings am Zielflughafen wird der Cost Index im Flug regelmäßig auf einen entsprechenden Touchdownzeitpunkt hin angepasst (Bild 5).

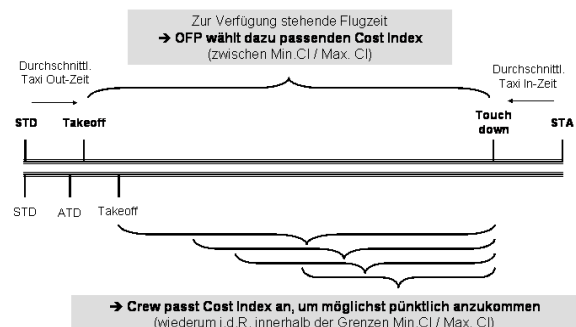


Bild 5: Ankunftszeitorientierte Flugplanung auf Basis des Cost-Index

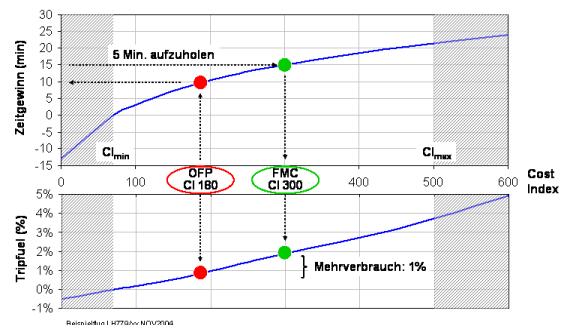


Bild 6: Variation des Cost Index: Zeitgewinn vs. Trip-Fuel auf Singapur-Frankfurt

Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei der Anpassung des Cost Index im Flug auch die benötigte Treibstoffmenge von der geplanten Menge abweicht. Sind beispielsweise Verspätungen aufzuholen, wird der tatsächliche Treibstoffverbrauch höher liegen als der vorausberechnete (Bild 6).

4. OPTIMIERTE BETANKUNGSMENGEN

Eine weitere Maßnahme zur Steigerung der Treibstoff-Effizienz stellt die Veröffentlichung des statistisch in der Vergangenheit auf einer Strecke mit einem bestimmten Flugzeugmuster benötigten „Extra Fuel Bedarfs“ auf dem operationellen Flugplan dar.

Die Berechnung der (mindestens) mitzuführenden Treibstoff-Menge ist durch den Gesetzgeber detailliert geregelt und enthält vielfältige Sicherheitszuschläge: Zunächst wird die für den reinen Flug – und das Rollen – benötigte Treibstoffmenge (Trip Fuel) berechnet. Dabei wird das geplante Abfluggewicht, das detaillierte Routing inkl. An- und Abflugstrecken, das Höhenprofil, aber auch über individuelle, mit Hilfe von Inflight Condition Monitoring Systemen ermittelte, Deterioration-Faktoren der technische Zustand des Flugzeugs berücksichtigt. Zu dieser Trip Fuel Menge wird eine Reserve hinzugerechnet (Contingency Fuel), die mögliche Abweichungen vom berechneten Verbrauch abdecken soll (abweichende Winde, Routenführung, Flight Levels, aber auch Fluggeschwindigkeit / Cost Index). Weiterhin addiert wird das Alternate Fuel für den Flug zum Ausweichflughafen für den Fall, dass der Zielflughafen kurzfristig zum Zeitpunkt der Landung nicht verwendet werden kann. Schließlich wird ein Final Reserve Fuel hinzugerechnet, das zusätzlich 30 bzw. 45 min. Flugzeit ermöglicht. Wird bei der Landung die Final Reserve Fuel Menge als Remaining Fuel unterschritten, erfolgt eine Meldung an die zuständigen Behörden.

Zusätzlich zu diesen gesetzlichen Minima, die eine sichere Flugdurchführung auch unter widrigen Umständen sicherstellen, können die Piloten bei Luft-hansa weitere Treibstoffmengen mitnehmen („Extra Fuel“). Extra Fuel ermöglicht z.B. längeres Holding am Zielflughafen, ohne auf Alternate Flughäfen ausweichen zu müssen. Auch zum Aufholen von Abflugverspätung, sofern nicht durch das Contingency Fuel abgedeckt, kann Extra Fuel verwendet werden. Insbesondere bei schlechtem Wetter (Nebel, Gewitterneigung, Schneesturm, ...) ist sinnvoll auch erhebliche Extra Fuel Mengen – beispielsweise für eine Stunde zusätzlicher Flugzeit am Zielflughafen – mitzunehmen, um Ausweich-landungen zu vermeiden. Nachteil einer hohen Extra Fuel Menge ist der zusätzliche Verbrauch

allein aufgrund des Treibstoffgewichts. So werden für jede Tonne zusätzliches Gewicht auf einem 12-Stunden-Flug rund 400 kg Kerosin benötigt.

Die Information des statistisch in der Vergangenheit auf einer Strecke mit einem bestimmten Flugzeugmuster benötigten „Extra Fuel Bedarfs“ bietet den Piloten eine zusätzliche Entscheidungshilfe zur Festlegung der Extra Fuel Mengen. Der auf Basis der Ist-Verbräuche errechnete „Extra Fuel Bedarf“ ist der Wert, der theoretisch hätte getankt werden müssen, um exakt mit Alternate Fuel plus Final Reserve Fuel zu landen. Da in aller Regel nicht einmal das Contingency Fuel aufgebraucht wird, ist dieser rechnerische „Extra Fuel Bedarf“ zumeist negativ. In diesen Extra-Werten ist der zum Transport des Extra Fuels benötigte Treibstoff bereits berücksichtigt (Zero Fuel Weight Corr.).

EF 90/99 gibt den Betrag an Extra Fuel an, den 90% bzw. 99% aller Flüge des gleichen Musters auf dieser Strecke maximal benötigt haben. Die ausgewiesenen Werte sind folgendermaßen zu interpretieren:

- EF90/EF99 = 0 bedeutet: Es war keine Extra-Betankung erforderlich. An der Destination befinden sich noch genau Alternate-Fuel und Final-Reserve-Fuel in den Tanks. Das Contingency-Fuel hingegen wurde verbraucht.
- EF90/EF99 < 0 bedeutet: Auch ohne Extra-Fuel befände sich nach der Landung an der Destination noch mehr als Alternate-Fuel und Final-Reserve-Fuel in den Tanks. Theoretisch hätte sogar der ausgewiesene Wert weniger (Contingency Fuel) getankt werden können. In der Praxis darf das gesetzliche Minimum natürlich nicht unterschritten werden.
- EF90/EF99 > 0 bedeutet: Dieser Extrafuel-Wert hätte geordert werden müssen, um genau mit Alternate-Fuel und Final Reserve Fuel anzu-kommen.

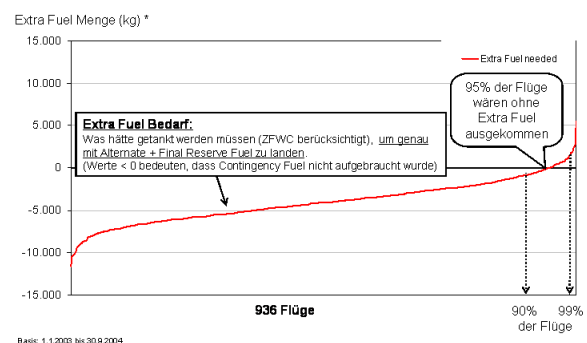


Bild 7: Typischer Extra Fuel - „Bedarf“ am Beispiel Singapur-Frankfurt, Boeing 747-400

Bild 7 zeigt exemplarisch den Extra Fuel Bedarf auf der Strecke Singapur-Frankfurt auf einer Boeing 747-400. Im dargestellten Beispiel heißt dies: in 95% der Flüge war keine Extra-Betankung erforderlich.

Da in die Statistik auch die Flüge an Nebel-, Gewitter- und Schneetage einfließen, stellt der EF90 Wert (der ja den Maximalverbrauch von 90% der Flüge abdeckt) i.d.R. bereits einen Flug unter widrigen Umständen dar, der EF99-Wert repräsentiert bereits einen Ausnahmeflug. Da die Ankunfts-wahrscheinlichkeit (am Zielflughafen statt Ausweichflughafen) jedoch auch bei Schlechtwetter nicht nur bei 90 oder 99% liegen soll, lohnt sich ggf. durchaus die Mitnahme von höheren Extra Fuel Mengen. Hier ist die Erfahrung und das Augenmaß der Piloten gefragt.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Einführung variabler Cost Indizes erschließt die signifikanten Einsparpotentiale der Cost Index Algorithmen der Flight Management Systeme durch variable Geschwindigkeiten anstelle konstanter Machzahlen, berücksichtigt jedoch auch die z.T. erheblichen Folgekosten für eine Fluggesellschaft, die sich bei Ankunftsverspätungen ergeben. Im täglichen Betrieb weist die Wahl eines hohen Cost Index regelmäßig auf unökonomisches Fliegen aufgrund ungünstiger Rahmenbedingungen hin, die in der Folge angegangen werden müssen. Die Auswirkungen saisonaler Wind-Schwankungen, zum Beispiel, lassen sich durch unterjährige Blockzeiten-Variationen reduzieren. Mit Hilfe der Cost-Index Systematik ist es gelungen, auf Einzelflug-Basis die Folgekosten von Abflugverspätungen durch höheren

Treibstoffbedarf quasi auf die Minute genau zu beziffern. Neben dem rein psychologischen Druck, der dadurch auf alle an der Abfertigung beteiligten Systempartner wirkt, lassen sich zukünftig auch Bonus-/Malus-Regelungen in die Entgeltvereinbarungen externer Dienstleister verhandeln.

Die Auswertung und Veröffentlichung statistischer Extra Fuel Bedarfsmengen stellt einen entscheidenden Schritt zur bewussteren Bemessung der Treibstoffmengen dar. Der sichere Flugbetrieb ist ohne Frage bereits durch die gesetzlichen Minima gewährleistet. Mit Hilfe der Extra Fuel 90 / 99 können einerseits Ausweichlandungen vermieden werden, andererseits wird schrittweise auch der unnötige Transport zusätzlicher Treibstoffmengen reduziert.

6. DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung durch die vielen Lufthansa Kollegen, die mit ihrer praktischen Erfahrung zum Gelingen der Maßnahmen beigetragen haben. Hervorzuheben sind G. Beyer, G. Mattes, Cpt. G. Vogel, Cpt. M. Storch und Cpt. B. Hinrichs von der Lufthansa AG, sowie W. Stüven und H.-M. Gnewikow von Lufthansa Systems Aeronautics GmbH.

7. LITERATUR

- [1] International Air Transport Association (IATA): Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management, 1st edition, Montreal/Geneva, December 2004