

# INSTANDHALTUNGSKOSTEN BEI ZIVILEN STRAHLTRIEBWERKEN

Dr.-Ing. O. Rupp  
MTU Maintenance Hannover GmbH  
Münchener Straße 31, 30855 Langenhagen

## 1. ÜBERSICHT

Die Folgekosten und deren möglichst genaue Abschätzung spielen bei der Beurteilung von Produkten in der Luft- und Raumfahrt eine sehr große Rolle. Dies gilt insbesondere für zivile Flugtriebwerke. Hier erzwang während der letzten Jahre die Konkurrenzsituation zwischen den Herstellern immer größere Konzessionen beim Neukauf. Demgegenüber wurden die Preise für die in der Instandhaltung benötigten Ersatzteile ständig erhöht, so daß die Instandhaltungskosten der Triebwerke immer stärker in den Fokus der Fluggesellschaften gekommen sind.

Der Bericht beschreibt kurz die Bedeutung der Instandhaltungskosten von Triebwerken im Rahmen der direkten Betriebskosten der Fluggesellschaften. Nach der Darstellung der gängigen Vertragsformen für das Service-Angebot "Triebwerksinstandhaltung" werden die Hauptkostentreiber bei der Instandhaltung besprochen. Dabei wird insbesondere die Beeinflussung dieser Kostentreiber durch unterschiedliche Faktoren, wie zum Beispiel Flugbetrieb und Umgebungsbedingungen, näher erläutert. Die Festlegung der erforderlichen Reparaturen im Rahmen einer Triebwerksinstandhaltung (Shop Visit) im Hinblick auf eine Reduzierung der Instand-

haltungskosten je Flugstunde spielt im Instandhaltungsprozess eine entscheidende Rolle.

## 2. EINLEITUNG

Für die Fluggesellschaften ist bei der Flottenplanung und der damit verbundenen Auswahl neuer Flugzeuge und Triebwerke die Frage der Folgekosten der jeweiligen Systeme, insbesondere der Triebwerke, von entscheidender Bedeutung.

Die Instandhaltungskosten der Triebwerke sind ein Teil der direkten Betriebskosten (DOC). Die Triebwerke machen dabei ca. 30% der gesamten Instandhaltungskosten, wovon wiederum etwa ein Drittel auf die Wartung und Instandhaltung dieser Triebwerke entfällt (vgl. BILD 1).

Neben einem erhöhten Konkurrenzdruck unter den Instandhaltungsunternehmen von Triebwerken ergibt sich für diese damit auch die Notwendigkeit, ihre Angebote hinsichtlich erforderlichem Reparaturumfang der Triebwerke und Kosten sehr genau auf den jeweiligen Kunden zuzuschneiden.

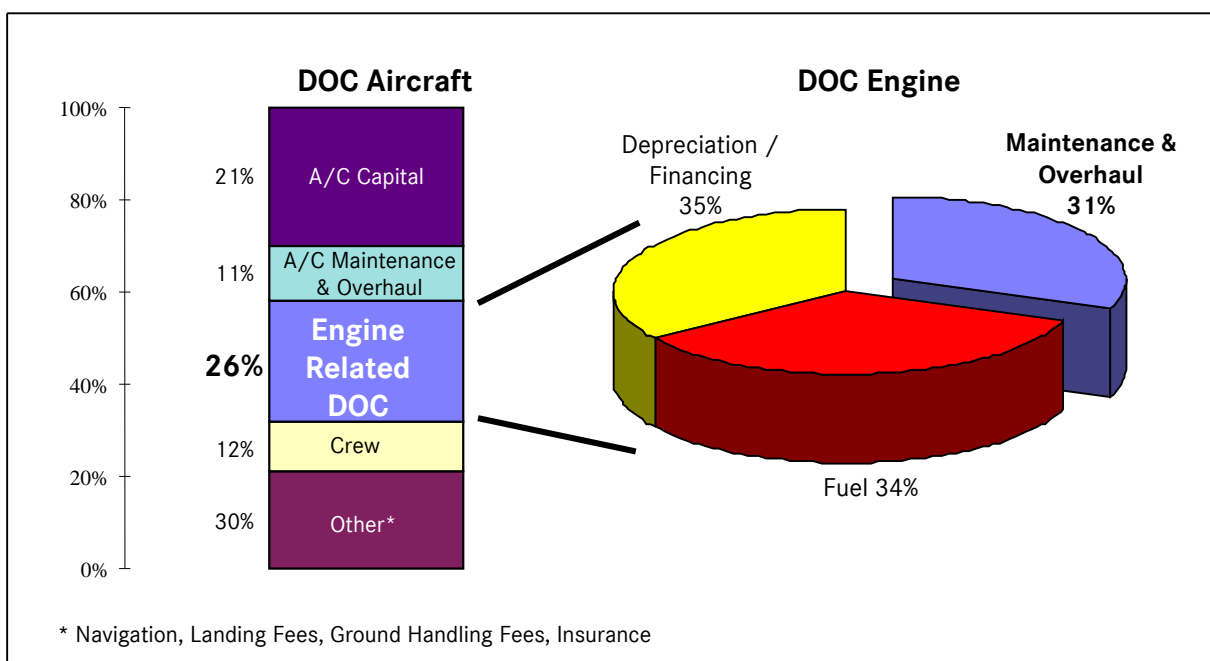


BILD 1. Instandhaltungskosten als Teil der direkten Betriebskosten einer Fluggesellschaft.

### 3. INSTANDHALTUNGSVERFAHREN

Instandhaltungsverfahren und -kosten werden wesentlich durch die dem Instandhaltungssystem zugrunde liegende "Philosophie" beeinflusst. Seit Mitte der 70er Jahre verfolgt die Mehrheit der Fluggesellschaften die *On Condition Methode*. Nach dieser Methode finden Überholungsereignisse nicht mehr nach einer festgelegten Anzahl von Flugstunden statt, sondern ausschließlich dann, wenn es der Triebwerkszustand erfordert. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines umfassenden Zustandsüberwachungssystems. Außerdem wird bei einem Überholungsereignis kein fester Arbeitsumfang abgearbeitet, sondern es wird jeweils ein individueller Arbeitsumfang bestimmt.

Der nach Betriebskosten optimale Zeitpunkt zum Triebwerksausbau wird durch ein Reihe weiterer Faktoren beeinflusst. Sie bewirken entweder Abweichungen vom Optimum, die man in Kauf nimmt, um die Anzahl der teuren Überholungsereignisse zu reduzieren oder sie bewirken sogar zusätzliche Überholungsereignisse. Die lebensdauerbegrenzten Teile LLP sind ein solcher weiterer Faktor. Die Laufzeitbegrenzungen dieser *Life Limited Parts* sind i.a. Fixwerte, die nicht überschritten werden dürfen. Zur Koordinierung mit dem optimalen Zeitpunkt können LLP's jedoch früher ausgebaut werden als unbedingt erforderlich. Weitere Faktoren sind etwa erforderliche oder gewünschte Triebwerksmodifikationen, besondere Instandhaltungsphilosophien und auch Schäden.

### 4. GÄNGIGE VERTRAGSFORMEN BEI DER ÜBERHOLUNG VON TRIEBWERKEN

Während früher viele Fluggesellschaften die Überholung ihre Triebwerke in eigenen Werkstätten selber durchführte, erteilt heute der Großteil der Fluggesellschaften einem Überholungsdienstleister (im folgenden "Shop" genannt) den Auftrag, die Triebwerke für die Fluggesellschaft zu überholen. Lediglich sehr große Fluggesellschaften, wie beispielsweise United Airlines, unterhalten noch eigene Shops zur Überholung ihrer Triebwerke.

Die Vergabe der Überholungsaufgaben an einen Shop setzt voraus, dass zwischen der Fluggesellschaft und diesem Shop ein Vertrag über die durchzuführenden Arbeiten abgeschlossen wurde. Dieser Vertrag kann ein "Exclusive"-Vertrag sein, d.h. die Fluggesellschaft schickt sämtliche Triebwerke (eines Typs) zu diesem Shop, oder auch ein "Non-Exclusive" Vertrag, bei dem sich die

Fluggesellschaft die Option offenhält, von Fall zu Fall zu entscheiden, von welchem Shop sie ein Triebwerk überholen lässt.

Der Vertrag kann verschiedene Zahlungsmodalitäten vorsehen, wobei grundsätzlich zwischen drei verschiedenen Vertragsformen zu unterscheiden ist.

Bei **Time and Material** Verträgen erstellt der Überholer für jedes Triebwerk eine ausführliche Rechnung, die genau auflistet, wie viele Arbeitsstunden bzw. Material während der Überholung verbraucht wurden. Diese bezahlt die Fluggesellschaft unter Berücksichtigung der im Vertrag festgelegten Lohnkosten bzw. Aufschläge für Material. Im Rahmen dieser Verträge garantiert der Überholer im allgemeinen auch eine gewisse Durchlaufzeit für die Durchführung der Überholung sowie eine Mindestleistung des Triebwerks nach der Überholung.

Demgegenüber bezahlt die Fluggesellschaft bei **Fly-by-Hour** Verträgen, wie der Name schon sagt, pro Triebwerksbetriebsstunde einen festen Betrag an den Überholer. Mit dem so gesammelten Anzahlbestand muss der Überholer dann die Überholung der Triebwerke finanzieren. Aus Sicht der Fluggesellschaft bietet diese Vertragsform vor allen Dingen den Vorteil, dass die Kosten für die Instandhaltung der Triebwerke relativ gut vorhersehbar und damit planbar sind. Auch aufgrund dieser Tatsache hat der Anteil dieser Vertragsart in den letzten Jahren immer stärker zugenommen. Bei dieser Art von Vertrag sind Garantien bezüglich der Triebwerksleistung eher unüblich, der Überholer ist im Rahmen der Shop Visit Planung aber häufig dafür verantwortlich, dass der Fluggesellschaft zu jedem Zeitpunkt ausreichend viele Ersatztriebwerke zur Verfügung stehen, um eine AOG-Situation (Aircraft On Ground) zu vermeiden.

Bei der dritten Grundform von Verträgen, den sogenannten **Fixed Price** Verträgen, wird zwischen Fluggesellschaft und Überholer ein fester Preis für bestimmte durchzuführende Arbeiten vereinbart. Diese Arbeiten können unterschiedlich stark detailliert werden. So kann zum Beispiel ein fester Preis für eine komplette Triebwerksüberholung genauso vereinbart werden, wie der Preis für die Zerlegung eines bestimmten Moduls bis zu einem gewissen Zerlegungsgrad.

Neben diesen drei Grundformen sind Mischformen in fast jeder Kombination möglich, die den Fluggesellschaften geringe Kosten bei guter Planbarkeit garantieren sollen. Entscheidend für die Wahl der geeigneten Vertragsform sind zahlreiche Faktoren, zu denen unter anderem die Bedürf-

nisse der Fluggesellschaft an Ersatztriebwerken, die personellen Kapazitäten für eine intensive technische Betreuung der Triebwerksüberholungen und die weitere Flottenplanung gehören.

## 5. EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE INSTANDHALTUNGSKOSTEN

Bereits durch die Konstruktion und Auslegung des Triebwerks kann der Triebwerkshersteller wesentliche Parameter festlegen, welche die Instandhaltungskosten beeinflussen. Auf diese Parameter soll an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden. Die Einsatzart des Triebwerks im Flugbetrieb kann durch den Hersteller nicht beeinflusst werden, da sie vom jeweiligen Betreiber und dessen Anforderung im Streckennetz abhängt. Dennoch muß der Triebwerkshersteller bemüht sein, das Triebwerk eben für diese vom Betreiber angegebene Missionen optimal auszuliegen. Dementsprechend ist es auch für den Hersteller wichtig, die Einflußparameter des Triebwerkseinsatzes auf die Instandhaltungskosten zu kennen und zu bewerten. Sie können generell durch alle drei am Triebwerksgeschäft beteiligten Branchen beeinflusst werden, und zwar durch

- a) die Fluggesellschaft, zum Beispiel durch die Flugstrecken (Fluglänge, Umgebungsbedingungen), verwendete Schubminderungen, On-wing Instandhaltungsmaßnahmen, usw.
- b) den Triebwerkshersteller, zum Beispiel durch Ersatzteilpreise, Modifikationen, usw.
- c) den Triebwerksüberholer, zum Beispiel durch gezielte Definition der erforderlichen Reparaturen, Reparaturoentwicklung, usw.

Während auf die beiden zuletzt genannten Branchen und die Möglichkeiten ihrer Beeinflussbarkeit in Kapitel 6 und 7 eingegangen werden soll, beschäftigt sich dieses Kapitel mit einigen der Einflußfaktoren, die durch die Fluggesellschaft beeinflusst werden. Im weitesten Sinne sind dies Faktoren, die Art und Dauer der Belastung der Triebwerkskomponenten im Betrieb beeinflussen.

### 5.1. Fluglänge und Schubminderung

Üblicherweise werden Instandhaltungskosten in Kosten pro Flugstunde ( $\$/EFH$ ) angegeben. Während für die Schädigungen des Triebwerks beispielsweise durch Kriechen tatsächlich die Betriebsstunden von größter Bedeutung sind, wird die Low Cycle Fatigue LCF im wesentlichen durch die Anzahl der Anlaßvorgänge, also der Flugzyklen, bestimmt. Dementsprechend müssen für eine Kostenbetrachtung pro Flugstunde in der Theorie flugstunden-abhängige und flugzyklen-abhängige Effekte der Schädigung überlagert werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Schadensmechanismen für die Vielzahl von Triebwerkskomponenten ist diese Vorgehensweise sehr aufwendig. In der Praxis werden aus Instandhaltungsdaten Kurven ermittelt, die den Einfluß der durchschnittlichen **Fluglänge** (Flight Leg Length) für das gesamte Triebwerk berücksichtigen. Auf diese Weise entfallen aufwendige Einzeluntersuchungen von Bauteilen. Gleichzeitig hat die Erfahrung gezeigt, dass die Kurven durch entsprechende Skalierung für unterschiedlichste Triebwerke einsetzbar sind.

Ein modernes Strahltriebwerk kommt im allgemeinen auf unterschiedlichen Flugzeugmustern mit unterschiedlichen Schubanforderungen zum Einsatz. So wird das CFM56-3C1 der Firma CFMI beispielsweise auf der Boeing 737-300, 737-400 und der 737-500 eingebaut. Der Hersteller spart auf diese Art und Weise die teure Entwicklung neuer Triebwerke und der Betreiber kann Kommunalitätseffekte nutzen. Anders als bei der Änderung des Triebwerksmusters wird die notwendige Schubänderung des Triebwerks hier lediglich durch Änderungen in der Regelung erzielt, die verwendeten Triebwerksmodule und -bauteile bleiben unverändert. In der Regel werden so Schubminderungen herbeigeführt, die auch zu einer Reduzierung der Temperaturen und Drücke im Triebwerk beitragen. Dieser Effekt führt also bei gleichbleibenden Fluglängen, Umgebungsbedingungen, usw. zu einer Verringerung der Triebwerksbelastung und somit zu sinkenden Instandhaltungskosten.

Neben dieser softwaretechnischen Schubanpassung wird ein Triebwerk in seinen Flugphasen nur selten mit dem jeweils maximalen Nominalschub geflogen. Während man für die Steig- und Reiseflugphase mit partiellen Schubminderungen von 0% bzw. 10% rechnet, kann eine ähnliche Vereinfachung für den Start nicht getroffen werden. Eine Schubminderung von 10% beim Start wird zwar meist als Standard angenommen, der Wert kann jedoch in Abhängigkeit von Gegebenheiten am Startflughafen und Beladung des Flugzeuges sehr weit variieren. So fliegen Fluggesellschaften mit voll ausgebuchten Flugzeugen in der Regel mit weniger Schubminderung als bei normalen Linienflügen üblich. Aus den partiellen Schubminderungen bei Start, Steig- und Reiseflug kann man eine "effektive" Schubminderung berechnen.

In BILD 2 ist der Einfluß von Fluglänge und Schubminderung auf die Instandhaltungskosten in einem Diagramm dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Instandhaltungskosten je Flugstunde mit zunehmender Fluglänge und zunehmender Schubminderung abnehmen.

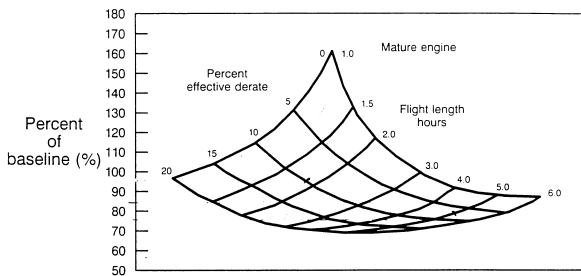


BILD 2. Einfluß von Schubminderung und durchschnittlicher Fluglänge auf die Instandhaltungskosten.

Aus dem Bild wird auch deutlich, wie wichtig eine konsequente Routine zur Erhöhung der Startschubminderung bei einer Fluggesellschaft im Hinblick auf eine Optimierung der Instandhaltungskosten ist. Wie in [1] und [2] näher dargestellt, erhöht eine solche kontrollierte Schubminderung zusätzlich die Sicherheit im Hinblick auf einen möglichen Triebwerksausfall beim Startvorgang.

## 5.2. Umgebungsbedingungen

Weitere, operationell bedingte Einflußparameter auf die Instandhaltungskosten sind die Umgebungsbedingungen, und zwar in erster Linie am Abflugort des Flugzeuges.

Die Außentemperatur hat wesentlichen Einfluß auf die Druck- und Temperaturverhältnisse im Triebwerk. Es ist unter anderem die Außentemperatur, die der Pilot zur Berechnung der verwendeten Schubminderung beim Start heranzieht. Generell steigt die Beanspruchung des Triebwerks beim Start mit zunehmenden Außentemperaturen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Luftdichte bei höheren Temperaturen geringer ist und das Triebwerk somit zur Erzeugung des gleichen Schubs mit höheren Drehzahlen und Temperaturen betrieben werden muss. Der Zusammenhang zwischen Außentemperatur und zusätzlicher oder bei niedrigen Außentemperaturen auch geringerer Triebwerksbelastung ist jedoch nicht linear. Neben dem Einfluß auf die Schubminderung kann die Außentemperatur darüber hinaus auch Einfluß auf den Ausbaupunkt des Triebwerks haben. Steigen nämlich die Außentemperaturen über die sogenannte "Flat Rated Temperature", so sinkt der zur Verfügung stehende Schub des Triebwerks. Ist die Außentemperatur an den Startflughäfen des Flugzeuges also höher als die maximal erlaubte Außentemperatur ("Outside Air Temperature Limit", OATL), so liefert das Triebwerk unter Umständen nicht mehr genug Schub für die benötigte Mission und muß frühzeitig für eine Überholung ausgebaut werden.

Als weitere Umgebungsbedingungen, die teilweise

sehr großen Einfluß auf die Instandhaltungskosten haben können, seien Luftfeuchtigkeit und Luftverschmutzung insbesondere auch durch Sand genannt. Während der hohe Natriumgehalt in der Luft insbesondere in Regionen mit Salzwasser-nähe, wie zum Beispiel am Mittelmeer, in vermehrtem Maße zu Hochtemperaturkorrosion im Bereich der Hochdruckturbinen führt, setzt sich Sand in erster Linie an den Verdichterschaufeln ab und verursacht dort Sulfidation. Darüber hinaus werden die Sandkörner über das Kühlluftsystem auch in die Turbinen befördert und können dort die Kühlluftbohrungen verstopfen.

Gerade die Luftfeuchtigkeit und die Luftverschmutzung sind zwei Phänomene, die nur sehr schwer für die Instandhaltungskosten zu quantifizieren sind. Bei der Auswertung von Triebwerksdaten aus der Überholung stellte sich jedoch heraus, daß Triebwerke mit zunehmender Lebensdauer und nach der ersten Überholung immer empfindlicher auf diese Umgebungsbedingungen reagierten. So erreichten beispielsweise Triebwerke von Betreibern mit häufigem Einsatz im Mittelmeergebiet teilweise nur wenig mehr als die Hälfte der On-wing Zeit im Vergleich zu anderen, ähnlich eingesetzten Triebwerken anderer Airlines.

## 5.3. On-wing Instandhaltungsmaßnahmen

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, werden Triebwerke heute allgemein im Rahmen einer ständigen Zustandsüberwachung beobachtet. Unter stabilen Betriebszuständen zeigt das Triebwerk thermodynamisch ein reproduzierbares Verhalten. Daher wird ein periodisch durchgeführter Vergleich mit dem Neutriebwerks-Zustand bei zunehmender Lebensdauer und allmählich zunehmenden Triebwerksfehlern Abweichungen zeigen. Zu den durch die Datenerfassung aufgenommenen Werten gehören dabei neben Turbinen-Austrittstemperatur (Exhaust Gas Temperature, EGT), Brennstoffmassenstrom und Wellendrehzahlen auch beispielsweise Vibrationsdaten.

Bei der Aufnahme der Vibrationen zeigt sich bereits, wie sehr die Fluggesellschaft die Instandhaltungskosten beeinflussen kann. So erlauben die Engine Manuals einiger Triebwerkstypen beispielsweise grundsätzlich die Entfernung von Vibrations-Aufnahme Geräten vom Triebwerk. Begründet wird dies mit einer teilweise großen Unzuverlässigkeit dieser Geräte, die im Betrieb zu Verunsicherungen und Problemen führen kann. Auf der anderen Seite wird durch das Entfernen dieser Aufnahme-Geräte das Risiko deutlich erhöht, ein Triebwerk über lange Zeit mit zu hohen Vibration-Niveaus zu betreiben, was zu deutlich erhöhten Instandhaltungskosten bei der folgenden

Überholung führen kann.

Ein weiteres Beispiel für den Einfluß, den die Fluggesellschaften auf die Instandhaltungskosten und insbesondere die On-wing Zeit eines Triebwerks haben können, betrifft die Reinigungsprozeduren des Triebwerks. Zur Entfernung von Ablagerungen auf den Verdichter-Schaufeln und damit zur (teilweisen) Wiederherstellung der Triebwerksleistung kann im Leerlaufbetrieb des Triebwerks Wasser oder auch ein Kohlepulver vorne in das Triebwerk eingespritzt werden. Dieses wäscht einen Teil der Verunreinigungen ab, verbessert den Wirkungsgrad des Verdichters und vermindert durch das so wieder reduzierte Temperaturniveau im Triebwerk auch die Belastung im Heißteil.

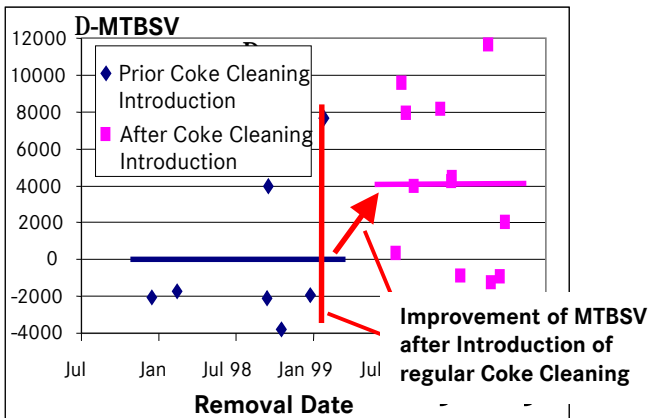


BILD 3. Einfluß von Schubminderung und durchschnittlicher Fluglänge auf die Instandhaltungskosten.

Das Ergebnis einer konsequenten Durchführung solcher On-wing Maßnahmen ist beispielhaft in BILD 3 dargestellt. Im vorliegenden Fall führte eine Fluggesellschaft ab Anfang 1999 eine interne Bestimmung ein, die eine regelmäßige Reinigung der Triebwerke mit Kohlepulver (Coke Cleaning) vorsah. Wie im Bild zu erkennen, führte dies zu einer deutlich erhöhten On-wing Zeit der Triebwerke. Gleichzeitig veränderten sich die Kosten bei der anschließend erfolgten Überholung aber nur unwesentlich.

Sicherlich ist die in BILD 3 dargestellte Verbesserung der On-wing Zeit ein extremes Beispiel - begünstigt durch die Tatsache, dass bei dieser Fluggesellschaft der Hauptgrund für einen Triebwerksausbau eine geringe Leistung der Triebwerke ist. Dennoch bleibt festzuhalten, dass die Line Maintenance Philosophie einer Fluggesellschaft die Instandhaltungskosten je Flugstunde maßgeblich beeinflusst.

## 6. HAUPTKOSTENTREIBER

Die für die Instandhaltung eines Triebwerks

anfallenden Kosten können im wesentlichen in drei Bereiche aufgeteilt werden: Kosten für die Montage/Demontage des Triebwerks, Reparaturkosten für Einzelteile und Materialkosten für den Ersatz von nicht mehr reparierbaren Bauteilen. Die Verteilung der Kosten auf bestimmte Bauteile und Bereiche ist von großer Bedeutung, da sie Rückschlüsse auf potentiell erreichbare Kostenreduzierungen für die einzelnen Bauteile - beispielsweise durch die Entwicklung neuer Reparaturen - zuläßt.

BILD 4 zeigt beispielhaft die Verteilung der Instandhaltungskosten bei einer Überholung auf die Bauteile, unterteilt nach Materialkosten (blau gekennzeichnet) und Arbeitskosten (rot bzw. gelb gekennzeichnet). Ausdrücklich sei hier darauf hingewiesen, dass lebensdauerbegrenzte Teile (LLP's) hier nicht mit berücksichtigt sind.

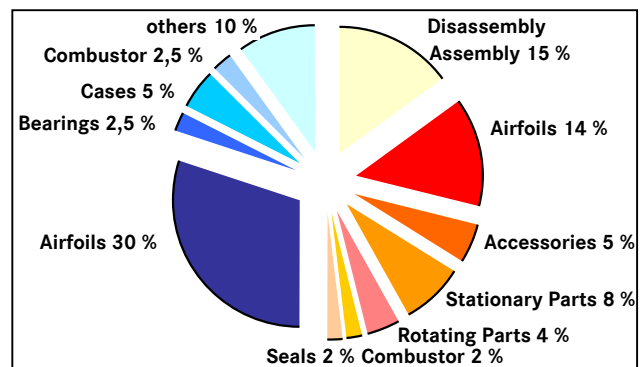


BILD 4. Kostentreiber bei der Überholung von Triebwerken.

Auffallend ist der große Kostenanteil für Airfoils - insgesamt fast 50% der Überholungskosten. Primär entstehen diese Kosten durch den Ersatz von nicht mehr reparablen Airfoils aus dem Bereich der Hochdruckturbine. Dies sind sicherlich mit die am höchsten belasteten Bauteile im gesamten Triebwerk, wobei erschwerend hinzukommt, dass beispielsweise Laufschaufeln in vielen Fällen laut Vorgabe vom Hersteller auch nur einmal komplett repariert werden können, bevor sie beim nächsten Überholungsereignis dann ggf. durch Neuteile ersetzt werden müssen. Bei Neuteil-Kosten von fast. US-\$500000,- für einen Satz HDT Stufe 1 Laufschaufeln (CF6-80C2) ist die hohe Quote dieser Bauteile an den Gesamtkosten gut nachvollziehbar.

Insgesamt machen die Materialkosten mehr als 50% der Überholungskosten aus, ein Faktor, der gerade Überholungsdienstleister dazu anregt, auch für komplizierte Bauteile Reparaturen zu entwickeln und somit die Gesamtkosten für ein Überholungsereignis zu reduzieren. Hintergrund für die hohen Materialkosten ist auch die Tatsache, dass die Triebwerkshersteller einen Großteil der eigenen Entwicklungskosten inzwischen

kaum mehr über den Verkauf von ganzen Triebwerken kompensieren können. So steigen die Preise für die Ersatzteile häufig um ca. 5% pro Jahr, während den Fluggesellschaften beim Kauf neuer Triebwerke große Konzessionen eingeräumt werden.

Im Bereich der Demontage und Montage liegt der Augenmerk demgegenüber vor allen Dingen auf der Optimierung interner Abläufe. Zusätzlich kann durch gezielte Anpassung der durchgeführten Arbeiten verhindert werden, dass ein Triebwerk weiter zerlegt wird, als dies aufgrund seines Zustandes eigentlich nötig wäre. Hierauf wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

## 7. DEFINITION DER ERFORDERLICHEN TRIEBWERKSREPARATUREN

Wenn ein Triebwerk vom Flugzeug abgebaut wird und zur Überholung zu einem Überholungsdienstleister geschickt wird, so wird beispielsweise die MTU Maintenance Hannover GmbH nicht immer die gleichen Arbeiten am Triebwerk durchführen, sondern die Überholung an die Gegebenheiten des jeweiligen Triebwerks sowie die Anforderungen der Fluggesellschaft anpassen. Der Ablauf einer Triebwerksüberholung folgt gewissen Regeln und soll im folgenden beschrieben werden (vgl. BILD 5).

Die Zerlegung des Triebwerks orientiert sich, wie

schon erwähnt, an den Rahmenbedingungen, die zwischen dem Kunden, dem Triebwerkshersteller sowie der MTU Maintenance Hannover GmbH in Form einer "Maintenance Specification" für die jeweiligen Kunden und Triebwerkstypen festgelegt wurden. Unter Anwendung des System Know-how erfolgt die bedarfsorientierte Triebwerkszerlegung in den Schritten Triebwerk, Modul und Einzelteil, wobei die festgestellten Beschädigungen im jeweiligen Schritt den primären Treiber für die weitere Zerlegungstiefe darstellen. Diese streng am Materialzustand orientierte Vorgehensweise ermöglicht unter Einbeziehung der geforderten Modifikationen und Leistungsbedarfe ein optimales Verhältnis von Aufwand zu Nutzen.

Abgeschlossen wird der Zerlegungsprozess mit der weiteren Bearbeitung der Einzelteile mit Reinigung, Rißprüfung und Inspektion. Dabei wird im Rahmen der Inspektion die eindeutige und endgültige Definition des Kundenauftrags "Überholung" durchgeführt.

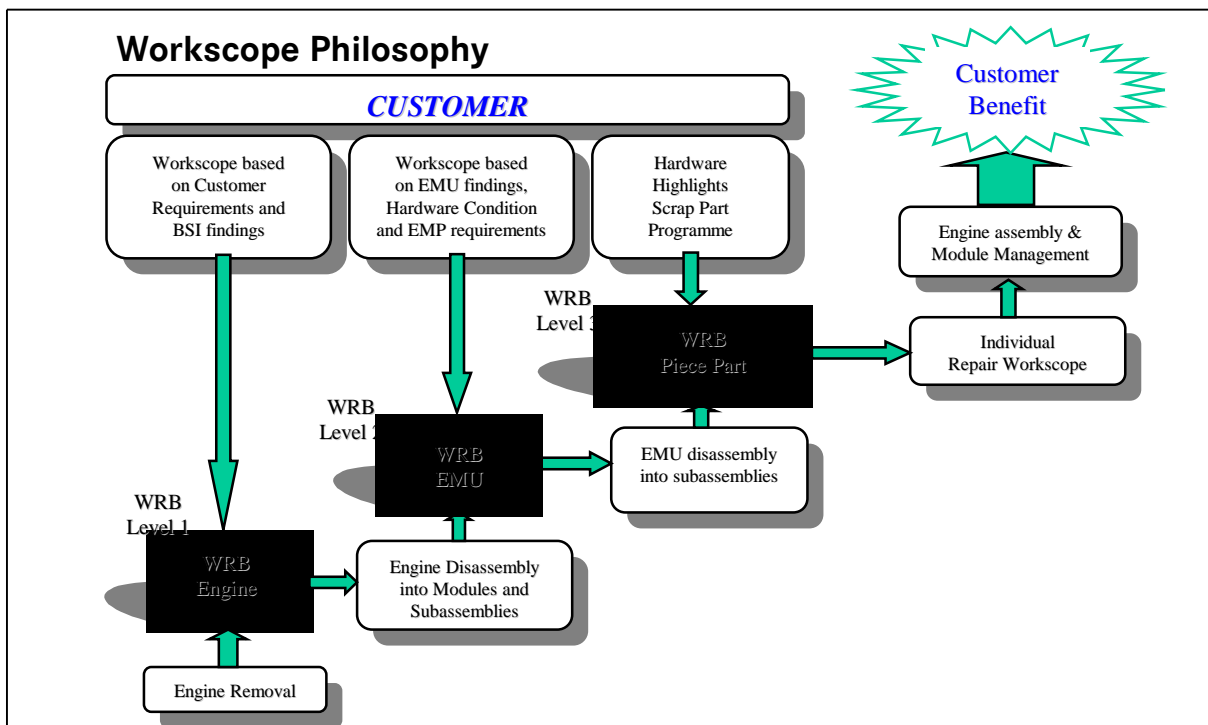


BILD 5. Festlegung der erforderlichen Arbeiten bei der Überholung eines Triebwerks.

## 8. ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Beurteilung und Auswahl von Triebwerken spielt für die am zivilen Luftverkehr beteiligten Branchen die Frage der Folgekosten eine große Rolle. Dabei haben die Instandhaltungskosten, die etwa ein Drittel der direkten Betriebskosten ausmachen, zunehmend an Bedeutung gewonnen. Insbesondere im Bereich der Triebwerke haben teilweise große Konzessionen bei den Preisen zu immer geringeren Gewinnspannen beim Verkauf von neuen Triebwerken geführt. Von den Fluggesellschaften werden schon bei den Verkaufsverhandlungen der Triebwerke nicht nur Garantien zum Brennstoffverbrauch, sondern auch über die Höhe der Instandhaltungskosten gefordert. Dies ist für sie von besonderer Wichtigkeit, weil bei den Herstellern eine Tendenz eingetreten ist, einen niedrigen Verkaufspreis später durch eine Verteuerung der Ersatzteile zu kompensieren.

Die Instandhaltungskosten werden durch zahlreiche Parameter beeinflusst. Neben den Auslegungsparametern des Triebwerks, die maßgeblich vom Triebwerkshersteller festgelegt werden, gehören hierzu auch Parameter wie die Einsatzart des Triebwerks, die Umgebungsbedingungen und Wartungsmaßnahmen bei den Fluggesellschaften.

Der vorliegende Artikel analysiert einige dieser Einflußparameter vor dem Hintergrund unterschiedlicher Verträge. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, wie gewisse Parameter zu beeinflussen sind. Gerade für Überholungsdienstleister wie die MTU Maintenance Hannover GmbH ist es wichtig, die Parameter richtig beurteilen zu können und so - im Interesse der Kunden - die Instandhaltungskosten zu optimieren.

## 9. SCHRIFTTUM

- [1] R. Stünkel: "Full Power oder nicht - das ist hier die Frage!"; fliegermagazin 10/2000, Seite 32-35.
- [2] R. Stünkel: "Mit halber Kraft voraus - Chancen und Risiken", fliegermagazin 11/2000, Seite 42-45.