

Der Beitrag soll – möglichst – in Ausgabe 7/8-2009 veröffentlicht werden.

Soll der Beitrag reviewt werden? Ja

Rubrik Industrielle Dienstleistung, Lifecycle, Verfügbarkeit

Titel Lebenszykluskostenkalkulation von Hubschraubertriebwerken

Untertitel Entwicklung eines Prognosewerkzeugs für die MTU Aero Engines GmbH

Autoren B. Denkena, M. Eikötter, P. Blümel, R. Schneider, S. Khowwigkai

B. Denkena, M. Eikötter, P. Blümel
Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
Leibniz Universität Hannover
An der Universität 2
30823 Garbsen
Tel. +49-511-762-5951
Fax: +49-511-762-5115
E-Mail: eikoetter@ifw.uni-hannover.de

Inhalt Aufgrund der Bestrebungen von Flugtriebwerksbetreibern, die Anschaffungs- und Betriebskosten der verwendeten Triebwerke weiter zu senken, bedient sich der Triebwerkshersteller MTU Aero Engines GmbH (MTU) des Lebenszykluskostenverfahrens „Life Cycle Costing“ (LCC). Dies ermöglicht es der MTU, ihren Kunden gegenüber qualifizierte Aussagen hinsichtlich der zu erwartenden Kosten pro Flugstunde treffen zu können. Vor diesem Hintergrund wurde im Zuge einer Kooperation zwischen der MTU und dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) ein Lebenszykluskostenverfahren für das Triebwerk MTR390-2C entwickelt. Dieses Verfahren erlaubt die Prognose der innerhalb der 30jährigen Nutzungsphase anfallenden Kosten dieses Triebwerktyps im deutschen Kampfhubschrauber Tiger. Da für die Bestimmung der Lebenszykluskosten der Ersatzteilbedarf des Triebwerks einen maßgeblichen Faktor darstellt und im Voraus nicht bekannt ist, war die Entwicklung eines Verfahrens zur Prognose der Ersatzteilbedarfe erforderlich. Darüber hinaus wurde ein Werkzeug zur Sensitivitätsanalyse entwickelt, mit dessen Hilfe die Auswirkungen von Prognoseunsicherheiten der in der Kooperation identifizierten wesentlichen Einflussfaktoren auf die gesamte Lebenszykluskostenprognose untersucht werden können.

Titel und Untertitel in Englisch Life Cycle Cost Calculation of Helicopter Jet Engines – Development of a Prognosis Tool for MTU Aero Engines GmbH

Abstract Due to the efforts of flight engine operators to reduce the total costs of ownership, MTU Aero Engines GmbH uses Life Cycle Costing (LCC). This enables MTU to give a qualified statement for the expected cost per flying hour to their customers. For that reason a LCC-method for the engine MTR390-2C has been developed in a cooperation of MTU and the Institute of Production Engineering

and Machine Tools (IFW). This method permits the prognosis of the costs incurred within the 30 years long service life in the German combat helicopter Tiger. As the spare part demand can not be foreseen in advance but is a crucial factor for the LCC, the development of a software tool for a spare part demand prognosis has been necessary. Furthermore a sensitivity analysis has been developed to determine the effects of forecast uncertainties.

1 Einleitung

Vom weltweiten konjunkturellen Abschwung sind Fluggesellschaften, Flugzeughersteller und deren Zulieferer gleichermaßen betroffen. Sie sind daher gezwungen, Kosten zu reduzieren und die Effizienz ihrer Prozesse zu steigern, um am Markt bestehen zu können [1]. Hiervon ist auch die MTU Aero Engines GmbH (MTU) betroffen, welche das Hubschraubertriebwerk MTR-390-2C für den Kampfhubschrauber Tiger im Konsortium MTU Turbomeca Rolls-Royce GmbH (MTR) entwickelt, produziert und instandsetzt. Die effiziente und kostengünstige Bereitstellung von Ersatzteilen über den gesamten Lebenszyklus eines Triebwerks hinweg, ist dabei ein differenzierendes Qualitätsmerkmal im Wettbewerb, welches zu einer verbesserten Kundenbindung führt und somit langfristig das Unternehmen am Markt stärkt [2]. Da die Kosten der Instandsetzung während des gesamten Lebenszyklus eines Investitionsguts wertmäßig meist den größten Anteil der Lebenszykluskosten ausmachen [3], wurden ein Ersatzteilprognose-Werkzeug (ET-Tool) sowie ein Lebenszykluskosten-Werkzeug (LCC-Tool) entwickelt, um alle relevanten Kosten innerhalb der Nutzungsphase für das Life Cycle Costing ermitteln zu können.

2 Life Cycle Costing

Life Cycle Costing (LCC) ist die Kostenberechnung, die mittels einer ganzheitlichen Betrachtung sämtliche Kosten erfasst, die durch ein Produkt innerhalb seines Lebenszyklus anfallen [4]. Mit Hilfe des LCC kann somit ein Kostenmanagement über den gesamten Produktlebenszyklus betrieben werden.

Das Grundkonzept der Lebenszykluskosten (LCC) wurde zunächst in den 1930er Jahren hauptsächlich für Großprojekte beim Militär entwickelt und fand anschließend Anwendung bei Gebäuden und später auch für Investitionsgüter des Maschinen- und Anlagenbaus. Ziel war es dabei immer, neben den Anschaffungskosten auch den zunehmend größer werdenden Teil der Folgekosten zu berücksichtigen. Hierdurch wird dem Nutzer die Möglichkeit gegeben, zwischen verschiedenen Alternativen unter der Beachtung der Gesamtkosten vergleichen zu können [5].

Das LCC basiert auf der Kenntnis, dass ein Investitionsgut nicht nur bei der Anschaffung, sondern über seinen gesamten Lebenszyklus bis hin zur Desinvestition Kosten verursacht [6]. Bild 1 zeigt nach Tönshoff die Faktoren, die wesentlichen Einfluss auf die Entstehung der Lebenszykluskosten haben. Dies sind insbesondere die anfallenden Einsatzkosten in der Nutzungsphase für Personal, Material, Energie sowie sonstige Ressourcen für den Betrieb, die Bereitstellung und die Instandsetzung. Zudem entstehen in der Nachnutzungsphase Kosten für die Anpassung, die Demontage oder die Entsorgung [7].

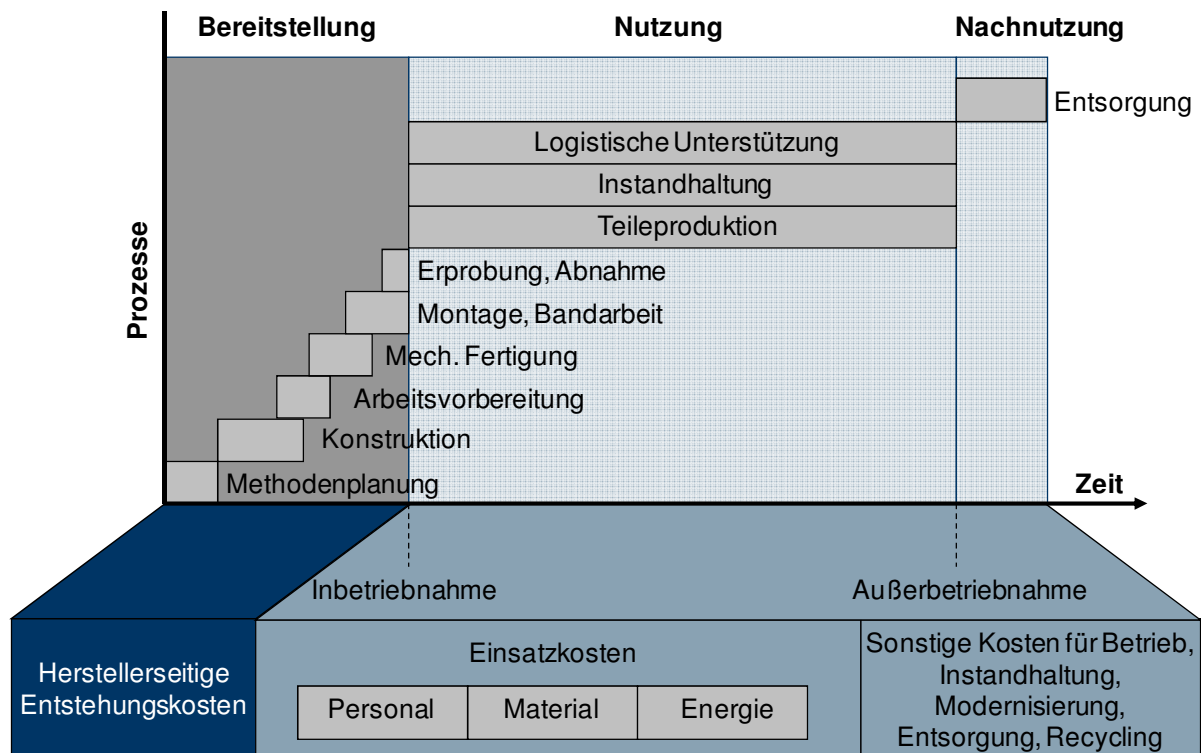


Bild 1: Einflussfaktoren der Life Cycle Costs

3 Ersatzteilprognose

Auf die Lebenszykluskosten eines Hubschraubertriebwerks hat der innerhalb der Nutzungsphase auftretende Ersatzteilbedarf für die Instandhaltung des Triebwerks maßgeblichen Einfluss. Daher wurde zur Ermittlung der Lebenszykluskosten der Triebwerke im Vorfeld eine Ersatzteilprognose entwickelt, welche dem folgenden standardisierten Instandhaltungskonzept der MTU unterliegt und mögliche Fehler in definierte Gruppen unterteilt.

3.1 Mögliche Fehler an Triebwerken

Auftretende Fehler können in die Hauptgruppen planbare und unplanbare Ausfälle untergliedert (Bild 2) werden.

Planbare Ausfälle

Die Ermittlung der planbaren Ausfälle ist abhängig von der freigegebenen Nutzungszeit des Herstellers, der Zuverlässigkeit des Bauteils bzw. der mittleren fehlerfreien Betriebszeit „Mean Time Between Confirmed Damage (MTBCD)“ sowie von Primärfehlern.

- **Primärfehler**

Ein Primärfehler ist ein Schaden, der den Ausbau eines Bauteils verursacht.

Unplanbare Ausfälle

Unplanbare Ausfälle sind Ausfälle, die sich nicht auf die Zuverlässigkeiten des Bauteils beziehen, sondern auf externe Einflüsse. Diese unplanbaren Ausfälle untergliedern sich in folgende Punkte.

- **Sekundärfehler**

Ein Sekundärfehler ist ein Modulschaden, der durch einen Primärfehler verursacht wird.

- **Folgefehler**

Ein Subsequent Fehler (Folgeschaden) ist ein Modulschaden, der im Rahmen einer Zerlegung eintritt und keinen Bezug zu einem Primär- oder Sekundärfehler hat. Dieser Fehler kann z.B. durch Unachtsamkeit von Mechanikern bei der Wartung auftreten.

- **FOD Fehler**

Foreign Object Damage (FOD) bzw. Fremdkörperfehler sind Schäden, die Fremdkörper wie z.B. Vögel, Steine oder Sand verursacht werden.

- **Korrosionsfehler**

Die Korrosion ist die Reaktion eines metallischen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die eine messbare Veränderung des Werkstoffs bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Bauteils oder des gesamten Triebwerks führen kann.

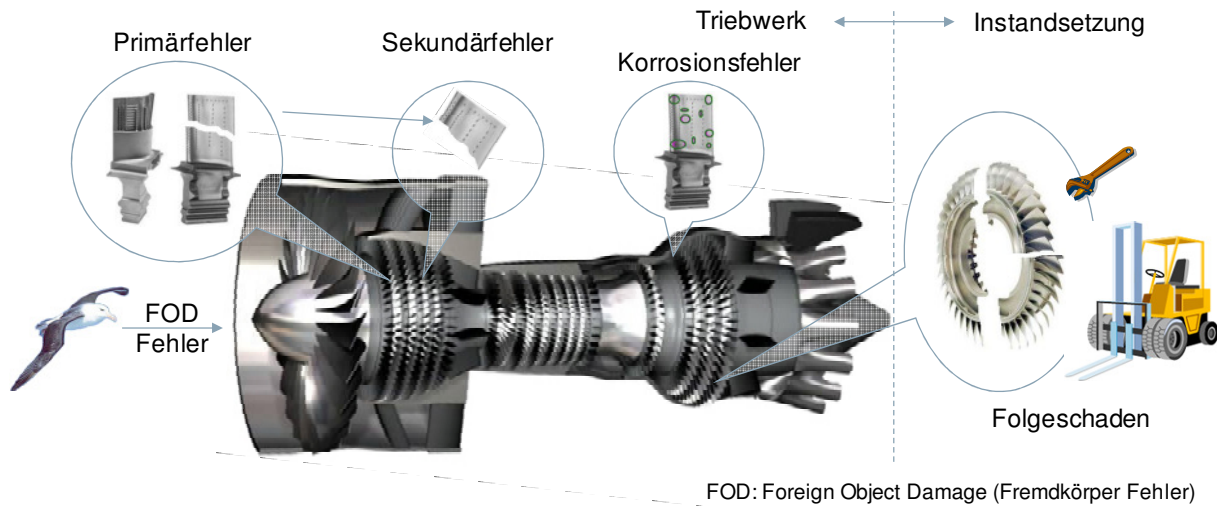


Bild 2: Fehlerunterscheidung von Bauteilen

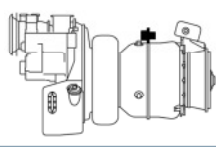
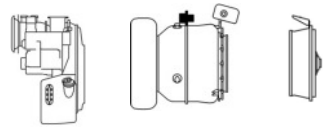
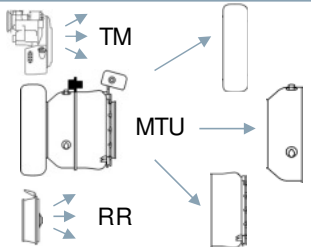
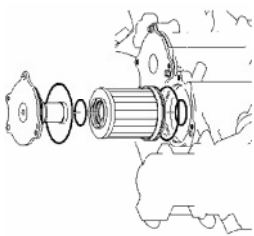
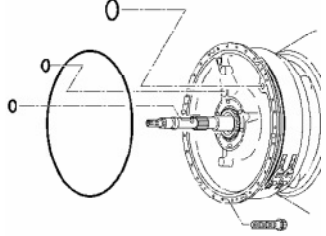
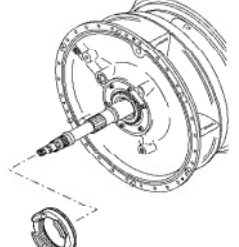
Zur rechnerischen Unterscheidung der prognostizierten Fehler werden Fehlermatrizen verwendet, mit deren Hilfe die Zuverlässigkeit des Triebwerks und der Module ermittelt wird. Die Primärfehler-Matrix wird dabei mit dem Prozentsatz der Sekundärfehler-Matrix multipliziert und ergibt eine Sekundärfehler-Matrix-Rate. Die Subsequent-Fehler-, FOD- und Korrosionsfehler-Matrizen werden ebenfalls mit der Primärfehler-Matrix multipliziert. Anschließend werden sämtliche Fehler-Matrix-Raten summiert. Der ermittelte Wert gibt die Zuverlässigkeit des Triebwerks sowie der Module an und stellt somit eine wesentliche Angabe für die Ersatzteilprognose der Triebwerke und Module dar. Ein niedriger Wert steht dabei für eine hohe Zuverlässigkeit der Triebwerke und Module nach dem jeweiligen Flugprogrammplan.

3.2 Instandsetzungskonzept für das Triebwerk MTR390-2C bei MTU

Das Instandsetzungskonzept der MTU gliedert Triebwerke grundsätzlich in die drei Module Getriebe, Verdichter und Power Turbine (Bild 3). Die benötigten Ersatzteile für Modulausfälle können in „reparierbare Teile“ und „unreparierbare Teile“ gruppiert werden. Das Instandsetzungskonzept für das Triebwerk MTR390-2C bei MTU unterteilt sich in drei Instandhaltungsstufen „Maintenance Level“ (ML) siehe Bild 3.

- **Maintenance Level 1 (ML1)** ist die Wartung des montierten Triebwerks im Hubschrauber beim Kunden ohne die Zerlegung in seine drei Module. Typische Ersatzteile dieses Maintenance Levels sind z.B. Dichtungen und Filter für die Anbaugeräte.
- **Maintenance Level 2 (ML2)** ist die Wartung des demontierten Triebwerks in der Werkstatt beim Kunden. Hierbei werden die drei Module voneinander getrennt, die Module selbst jedoch nicht zerlegt. Typische Ersatzteile innerhalb dieser Instandhaltungsstufe sind z.B. Dichtungen und Schrauben für die Zwischengehäuse der Module.
- **Maintenance Level 3 (ML3)** ist die sogenannte „tiefer gehende Wartung“, welche durch Arbeiten an den Modulen bei MTU definiert wird. Die Durchführung dieser Wartungsarbeit bei MTU setzt voraus, dass die benötigten Materialien sowie die Ersatzteile jedes Moduls der beteiligten Turbinenbauern MTU, Turbomeca (TM) und Rolls-Royce (RR) verfügbar sind. Die Instandsetzungsbetriebe von MTU, TM und RR sind für die Beschaffung der Ersatzteile bzw. Werkzeuge selbst verantwortlich. Die gesamten bestellbaren Ersatzteile für das Triebwerk

MTR390-2C sind in einer Ersatzteildatenbank (Initial Provisioning List Datenbank) bei MTU gespeichert, so dass deren Verfügbarkeit direkt abrufbar ist.

	ML1 Kunde	ML2 Kunde	ML3 MTU
Triebwerk	Triebwerkstausch 		
Modul		Zerlegung in Module Modul1 Getriebe Modul2 Verdichter Modul3 PT 	
Ersatzteil	 z.B. Ölfilter	 z.B. Dichtung der Zwischengehäuse	 z.B. Schaufeln, Welle

TM: Turbomeca, MTU: MTU Aero Engines, RR: Rolls-Royce, PT: Power Turbine, ML: Maintenance Level

Bild 3: Instandsetzungskonzept für das Triebwerk MTR390-2C

3.3 Softwareunterstützung zur Ersatzteilprognose

Zur effizienten Verarbeitung der bestehenden Daten wurde unter Verwendung von Microsoft Excel und Visual Basic for Applications das Ersatzteilprognose-Werkzeug „ET-Tool“ entwickelt. Hierdurch ist es den Anwendern möglich, eine Ersatzteilprognose für das Triebwerk MTR390-2C mit geringem Zeitaufwand erstellen zu können. Das ET-Tool importiert sämtliche Ersatzteilmateriale aus der Ersatzteil-Datenbank und errechnet die wahrscheinlich notwendigen Bestellmengen für das Triebwerk MTR390-2C nach der Unterscheidung der Maintenance Level für den Instandsetzungsbedarf der nächsten 30 Jahre. Dabei basieren diese Daten auf den langjährigen und bereichsübergreifenden Erfahrungen und Kenntnissen in Bezug auf die Haltbarkeit der einzelnen Triebwerksbauteile der MTU. Das ET-Tool informiert den Nutzer, wie viele Triebwerke und Module in Abhängigkeit des Flugprogrammplans, welcher die Flugstunden beinhaltet, voraussichtlich zu ersetzen sind. Darüber hinaus berechnet es, welche und wie viele Ersatzteile für die entsprechenden Module innerhalb welches Zeitraums bei der Instandsetzung erforderlich sind. Hierdurch ist es möglich, die wahrscheinlichen Bestelltermine für die Ersatzteile der drei Maintenance Level prognostizieren zu können und eine rechtzeitige Beschaffung vorzusehen.

Das ET-Tool besteht aus insgesamt 30 Microsoft-Excel-Registerkarten in denen die notwendigen Informationen hinterlegt sind. Auf dieser Datenbasis können die Berechnungen abgerufen und automatische Analyse gestartet werden. Sollten für die Analyse noch Informationen fehlen, so informiert das ET-Tool den Nutzer und visualisiert den Bereich der fehlenden Information. Das ET-Tool liefert das Ergebnis der Ersatzteilprognose mit dem aktuellen Bauteilvarianten nach Anbauposition der Teile des Triebwerks.

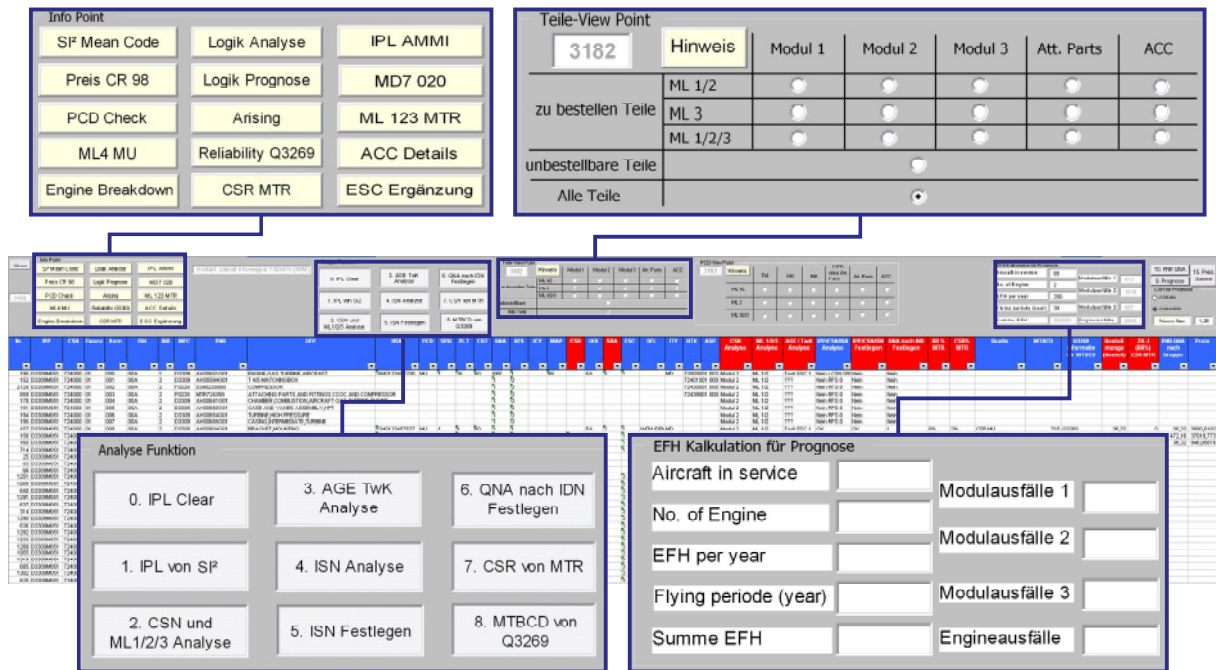


Bild 4: Überblick des Ersatzteilprognose-Werkzeugs (ET-Tool)

Das Ersatzteilprognose-Werkzeug (ET-Tool) verfügt über die folgenden Funktionen (Bild 4):

- **Info-Point**
Abrufen sämtlicher Grunddaten des ET-Tools
- **Analyse-Funktion**
Prüfen der Grunddaten auf Vollständigkeit und Konsistenz
- **Teile-View-Point**
Sortierung der Teile nach Modulen und unterschiedlichen Maintenance Leveln
- **PCD-View-Point**
Sortierung der Teile nach Herstellern und unterschiedlichen Maintenance Leveln
- **EFH-Kalkulation**
Berechnung der Engine Flying Hours (Flugstunden), Modul- und Triebwerksausfälle
- **Ersatzteilmengenprognose-Funktion**
Vorhersage der Anzahl der defekten oder verschlissenen Bauteile
- **Ersatzteilkostenprognose-Funktion**
Vorhersage der Aufwendungen der defekten oder verschlissenen Bauteile

4 Lebenszykluskostenprognose

Abhängig von der Anwendung (militärisch oder zivil) werden unterschiedliche Methoden zur Ermittlung der Kosten von Fluggeräten verwendet [8]:

- **Direct Operating Cost (DOC)** für zivile Verkehrsflugzeuge (Euro/Kilometer)
- **Total Operating Cost (TOC)** bzw. Cost of Ownership für ziviles Fluggerät (Euro/Flugstunden)
- **Life Cycle Cost (LCC)** für militärisches Fluggerät (Euro/Flugstunden)

In Anlehnung an Weißbacher definiert sich der durch MTU verwendete Begriff des LCC wie folgt [8]: „Sämtliche Kosten eines Gerätes, gerechnet von Beginn der Entwicklung bis zur Außerdienststellung. Sie beziehen sich auf die Kosten für die Entwicklungs-, Beschaffungs- und Nutzungsphase.“

4.1 Kalkulation der Lebenszykluskosten

Die im Zuge der Kooperation zwischen MTU und dem IFW identifizierten und im LCC-Tool verwendeten wesentlichen Einflussfaktoren sowie deren allgemeine Bedeutungen werden im Folgenden erläutert:

- **In Service Development**

- Entwicklung, Verifizierung und Aufbau der logistischen Unterstützung für die Nutzungsdauer.
- **Fuel, Oil and Lubrication**
Kraftstoff, Öl und Schmierstoffe für das Triebwerk.
- **Maintenance**
Instandhaltungbedarf unterteilt in Arbeit und Material für die Maintenance Level 1,2 und 3.
- **Sustained Support Investment**
Kontinuierliche Logistikunterstützung inkl. der Sicherheitsbestände für Ersatzteile, um unvorhersehbare Ersatzteilmachfragen bewältigen zu können sowie Spezialwerkzeuge für die Instandsetzung beim Kunden.
- **Sustained In-Service Support**
Laufende logistische Unterstützung für die Nutzungsdauer.
- **Inventory Management**
Bestandsmanagement unterteilt in das Lagermanagement der Bauteile, die Lagerpflege und die Verteilung der Bauteile.
- **Sustained Transport, Packing and Insurance**
Laufender Transport (inkl. Verpackung und Versicherung) von MTU zum Kunden oder umgekehrt sowie zwischen den industriellen Instandsetzungsbetrieben.
- **Life Limit**
Freigegebene Nutzungsdauer eines Bauteils.

4.2 Softwareunterstützung zur Lebenszykluskostenprognose

Das Life Cycle Costing-Tool (LCC-Tool) ist analog zum Ersatzteilprognose-Werkzeug mittels Microsoft-Excel und Visual Basic for Applications programmiert worden. Mit dem LCC-Tool kann der Nutzer die „Kosten pro Flugstunde“ für das Triebwerk MTR390-2C innerhalb der Nutzungsphase mit wenig Zeitaufwand kalkulieren. Zusätzlich steht eine Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung der Auswirkungen von Unsicherheiten der einzelnen Bestandteile der LCC-Faktoren auf die gesamten Kosten pro Flugstunde zur Verfügung. Mit deren Hilfe kann der Nutzer die Sensitivität der wesentlichen Einflussgrößen des LCC-Tools ermitteln.

Bild 5 stellt die Kosten pro Flugstunde sowie die Sensitivitätsanalyse mit ihren Einflussgrößen dar. Die der Darstellung zugrunde liegenden Daten wurden seitens der Autoren aufgrund bestehender Geheimhaltungsvereinbarungen geändert. Dabei zeigt das Balkendiagramm Flugstundenkosten die absoluten Kosten jedes LCC-Faktors. In dem darunter liegenden Kreisdiagramm werden die Kosten der LCC-Faktoren prozentual dargestellt. Da die Kosten der Maintenance-Faktoren während des gesamten Lebenszyklus eines Investitionsguts wertmäßig meist den größten Anteil der Lebenszykluskosten ausmachen, werden die Maintenance-Kosten besonders berücksichtigt. Die Funktionen der Sensitivitätsanalyse des LCC-Tools bieten zwei Modi an:

- Im **Standard-Modus** wird das Ergebnis der prognostizierten Kosten dargestellt, ohne dass der Nutzer das Ergebnis beeinflussen kann (ohne Sensitivitätsanalyse).
- Im **Variablen-Modus** wird das Ergebnis der prognostizierten Kosten dargestellt und der Nutzer kann die einzelnen Kostenfaktoren variieren (mit Sensitivitätsanalyse).

Mit Hilfe dieser integrierten Sensitivitätsanalyse können die Auswirkungen von Veränderungen einzelner Einflussfaktoren berücksichtigt werden, so dass beispielsweise bei der Angebotserstellung der „Fuel, Oil and Lubrication“-Faktor einem steigenden oder sinkenden Ölpreis angepasst werden kann. Mittels Scrollbars kann der Nutzer den Prozentsatz der einzelnen Faktoren verändern und deren Beeinflussung direkt beobachten. Über die verschiedenen Diagramme für den Variablen- und Standard-Modus können Einstellungen, die im Variablen-Modus vorgenommen werden, mit dem Standard-Modus verglichen werden. Dies bietet einen Überblick über die absoluten Veränderungen der Kosten der jeweiligen Faktoren.

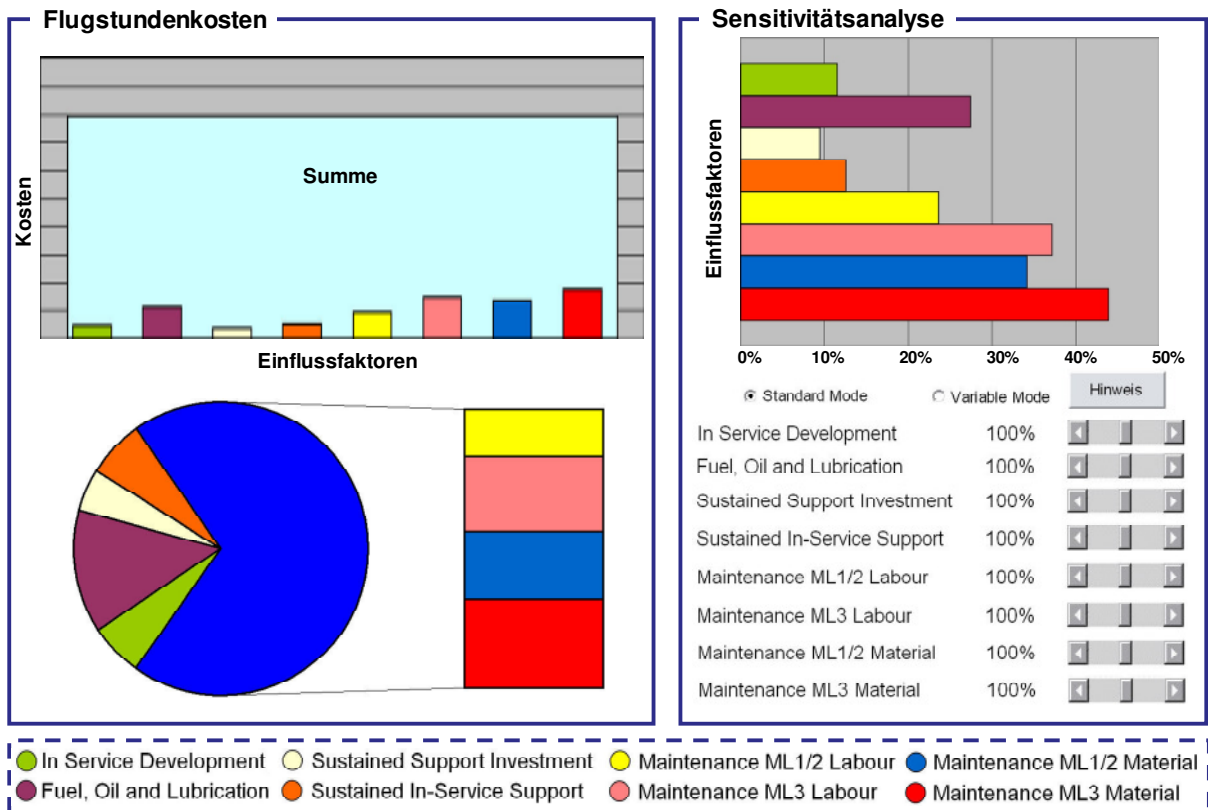


Bild 5: Kosten- und Sensitivitätsanalyse (Daten verändert)

Darüber hinaus ist innerhalb des LCC-Tools eine Portfolio-Analyse integriert, welche die mittelbaren und unmittelbaren Kosten unterscheidet und diese nach deren Bedeutung klassifiziert. Die mittelbaren Kosten entsprechen dabei den Fixkosten, die unabhängig vom Flugbetrieb anfallen und die unmittelbaren Kosten den variablen Kosten, welche ausschließlich beim Flugbetrieb anfallen (z.B. Kosten für Kerosin).

5 Zusammenfassung

Mit Hilfe des entwickelten Verfahrens sowie des Tools können die Kosten pro Flugstunde des Triebwerks MTR390-2C für das Programm „militärische MTR-Instandsetzung“ bei MTU kalkuliert und der Ersatzteilbedarf prognostiziert werden. Um Unsicherheiten innerhalb der Kostenkalkulation erfassen zu können, verfügt das entwickelte Lebenszykluskosten-Werkzeug über eine Sensitivitätsanalyse.

Die Datenbasis der Lebenszykluskostenkalkulation erstellt dabei ein ebenfalls entwickeltes und integriertes Ersatzteilprognose-System, welches die aktuellen Informationen der Materialkosten und deren Haltbarkeit aus bestehenden Datenbanken exportiert, berechnet und zur Analyse bereitstellt. Hierdurch ist eine transparente und nachvollziehbare Ersatzteilprognose mit wenig Zeit- und Kostenaufwand sowie hoher Genauigkeit möglich. Das LCC-Tool liefert als Ergebnis die Kosten pro Flugstunde für die Nutzungsphase des Triebwerks MTR390-2C und erstellt gleichzeitig einen Überblick, welchen prozentualen Einfluss die verschiedenen LCC-Faktoren auf das Ergebnis haben. Um die Kosten pro Flugstunde dynamisch kalkulieren zu können, wurde eine Sensitivitätsanalyse integriert, welche in zwei Varianten im LCC-Tool zur Verfügung steht. Im LCC-Tool verbergen sich umfangreiche Analysefunktionen, um die Vielzahl an Informationen sicher und effizient verarbeiten zu können.

6 Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes „Integratives Fabrik-, Technologie- und Produkt-Roadmapping auf Basis eines ganzheitlichen Einfluss- und Bewertungsmodells“ (DE 447/43-1) sowie im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes „Maschinenzustandsbasierte Verfügbarkeitsdienstleistungen für hochproduktive Fertigungsanlagen (Make-it)“ (02PG2040) erarbeitet. Das IFW ist Mitglied des Network of Excellence for Innovative Production Machines and Systems (I*PROMS).

8 Literatur

- [1] Mock, W.: Am Himmel wird die Stimmung mau – Luftfahrtbranche in der Krise: Finanzkrise und konjunktureller Abschwung treffen Fluggesellschaften, Hersteller und Flughäfen. VDI nachrichten, Düsseldorf 24.10.2008.
- [2] Dombrowski, U.; Schulze, S.: Lebenszyklusorientiertes Ersatzteilmanagement. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zur einer Theorie der Logistik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [3] Frank, T.; Niemann, J.; Westkämper, E.: Ein Tool zur lebenslangen Kostenüberwachung. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 7/8.
- [4] Klocke, F.; Lung, D.; Nau, B.: Umweltorientiertes Lebenszyklusmanagement. wt Werkstattstechnik Online 98 (2008) 7/8.
- [5] Abele, E.; Dervisopoulos, M.: Nutzung der Lebenszykluskostenanalyse von Werkzeugmaschinen im Vertrieb und der Entwicklung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 6.
- [6] Lay, G.; Radermacher, E.: Life-Cycle-Costing-Tool als Instrument zur Kosten-/ Nutzen-Betrachtung produktbegleitender Dienstleistungen. In: Lay, G.; Nippa, M.: Management produktbegleitender Dienstleistungen. Physica-Verlag, Heidelberg, 2005.
- [7] Tönshoff, H. K.; Eger, M.; Oelschläger, H.: Lebenszykluskosten in der Angebotskalkulation, wt Werkstattstechnik Online 92 (2003) 11.
- [8] Weißbacher, H.: Lebenswegkosten von Antrieben für Kampfflugzeuge. (Konferenz in Mannheim, 1989; Konferenztitel: Wehrtechnisches Symposium Luftfahrttechnik XI), Mannheim 1989, S. 1-19

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena promovierte 1992 zum Dr.-Ing. an der Universität Hannover. Anschließend arbeitete er 10 Jahre in der Werkzeugmaschinenindustrie, unter anderem bei der Hüller Hille GmbH und der Gildemeister Drehmaschinen GmbH, zuletzt als Leiter Entwicklung und Konstruktion. Zum 01.10.2001 wurde er berufen als Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover. Seine Forschungsgebiete umfassen spanende Fertigungsverfahren, Werkzeugmaschinen und deren Steuerungen sowie die Fertigungsplanung und -organisation.

M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Mark Eikötter ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Fertigungsplanung und -organisation am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover. Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Produkt- und Technologieplanung sowie die Technologiebewertung mittels Lebenszykluskostenermittlung.

Dipl.-Ing. (FH) Peter Blümel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Fertigungsplanung und -organisation am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) der Leibniz Universität Hannover. Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Themenbereiche Instandhaltung und Lebenszykluskosten.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Ralph Schneider ist bei der MTU Aero Engines GmbH (MTU) als Integrated Logistic Support Manager (ILS-Manager) für das militärische Programm MTR390 tätig. Sein Tätigkeitsfeld umfasst die In-Service Kundenunterstützung für das militärische Triebwerk MTR390.

M.Sc. Samart Khowwigkai ist Absolvent der Leibniz Universität Hannover und war im Zuge seiner Masterarbeit bei der MTU Aero Engines GmbH (MTU) beschäftigt.

Bild 1: Einflussfaktoren der Life Cycle Costs

Bild 2: Fehlerunterscheidung von Bauteilen

Bild 3: Instandsetzungskonzept für das Triebwerk MTR390-2C

Bild 4: Überblick des Ersatzteilprognose-Werkzeugs (ET-Tool)

Bild 5: Kosten- und Sensitivitätsanalyse