

Prädiktive Instandhaltung in der Luftfahrt

Der starke Fokus der zivilen Luftfahrt auf Sicherheit hat zu einem hohen Entwicklungsstand der Flugzeuginstandhaltung geführt. Maßnahmen der Instandhaltung sind dabei die Wartung, Inspektion, Instandsetzung sowie die Schwachstellenbeseitigung und kontinuierliche Prozessverbesserung.

Nach Angaben des internationalen Dachverbands der Fluggesellschaften IATA gaben diese im Jahr 2014 ungefähr \$ 62,1 Mrd. für die Instandhaltung aus [1]. Diese Kosten machen mit knapp 10% einen erheblichen Anteil an den gesamten Betriebskosten aus. Aufgrund des hohen Kostendrucks im Luftverkehr wird deshalb auch in der Instandhaltung nach Einsparpotentialen gesucht.

Geplante und ungeplante Instandhaltung

Grundsätzlich kann zwischen geplanten und ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen unterschieden werden. Bei der geplanten Instandhaltung werden mehrere Tausend Einzelaufgaben pro Flugzeug regelmäßig überwacht, geplant, durchgeführt und dokumentiert. Die Durchführung erfolgt in Paketen in regelmäßigen Zeitintervallen (beispielsweise täglich, wöchentlich und in sogenannten „Letter Checks“ A-D). Dabei geht es darum, durch präventive Maßnahmen die Lufttüchtigkeit aufrecht zu erhalten.

Zusätzlich kommt es häufig zu ungeplanten Instandhaltungsereignissen. Diese können durch Crew Reports oder Systemmeldungen ausgelöst werden, beispielsweise nach einer harten Landung, einem Blitzschlag oder einem Komponentenausfall. Solche ungeplanten Ereignisse haben oft hohe Kosten zur Folge, weil sie zu Verspätungen im Flugbetrieb oder gar zu Flugausfällen mit entsprechenden Folgekosten führen können. Deshalb wäre es wünschenswert, ungeplante Ausfälle zu einem planbaren Ereignis machen zu können, so dass rechtzeitig eine geplante Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt und damit ein Ausfall vermieden werden kann.

Optimaler Zeitpunkt für Instandhaltungsmaßnahmen

Abbildung 1 zeigt schematisch die Kosten von geplanter und ungeplanter Instandhaltung als Funktion des Instandhaltungsintervalls. Wird beispielsweise eine Komponente in kurzen Intervallen getauscht, sinkt zwar die Wahrscheinlichkeit, dass ein ungeplanter (korrektiver) Austausch stattfinden muss. Im Gegenzug steigen aber die präventiven Instandhaltungskosten und die Lebensdauer der Komponente wird nicht optimal ausgenutzt. Wartet man dagegen, bis die Komponente ausfällt, wird zwar die Lebensdauer vollständig ge-

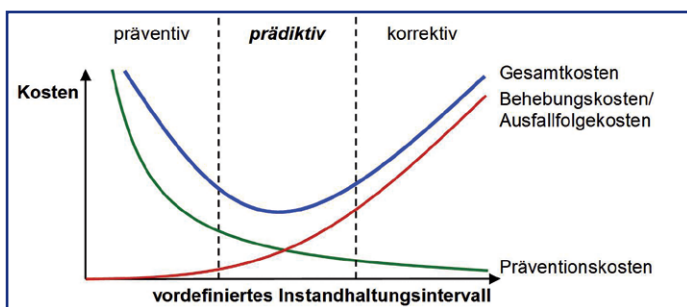


Abbildung 1: Optimierung des Instandhaltungsintervalls.

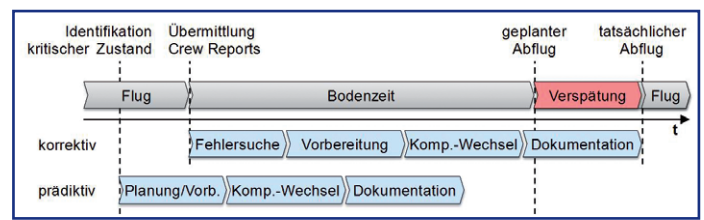


Abbildung 2: Vermeidung von Verspätungen durch die prädiktive Instandhaltung.

nutzt, aber es entstehen die schon beschriebenen Nachteile eines ungeplanten Ereignisses mit den entsprechenden Folgekosten. Die minimalen Kosten entstehen dann, wenn die Lebensdauer der Komponente bestmöglich genutzt wird, der Austausch aber noch geplant erfolgen kann. Das ist der Bereich der zustandsbasierten Instandhaltung. Zur Bestimmung des optimalen Zeitpunktes für Instandhaltungsmaßnahmen ist mindestens eine Diagnose des aktuellen Zustands der betreffenden Komponente notwendig. Ideal wäre jedoch eine zusätzliche Prädiktion der verbleibenden Lebensdauer.

Abbildung 2 zeigt den Nutzen der prädiktiven Instandhaltung am Beispiel einer kritischen Komponente, die zur Mindestausrüstung des Flugzeugs gehört und bei einem Ausfall vor dem nächsten Flug getauscht werden muss. Wenn ein kritischer Zustand bereits während des Fluges identifiziert und per Datenlink übermittelt werden kann, könnte der Tausch der Komponente bereits am Boden vorbereitet werden, um Verspätungen zu vermeiden.

Big Data

In modernen Verkehrsflugzeugen wird eine Vielzahl von Sensordaten und Zustandsdaten erfasst. Beim Airbus A380 sind dies etwa 250.000 Parameter, beim A350 bereits mehr als 400.000 Parameter [2]. Bei jedem Flug fallen so bis zu 500 Megabyte an Daten an, die grundsätz-

lich bereits während des Fluges ausgewertet werden können, um Auffälligkeiten zu erkennen und Zustandsinformationen per Datenlink an das Bodenpersonal zu melden. Nach dem Flug können die Daten genutzt werden, um ausführliche statistische Auswertungen durchzuführen. Sowohl Airbus als auch Boeing bieten ihren Kunden erste Produkte zur Durchführung entsprechender Analysen an [2,3]. Auch bei älteren Flugzeugen wie beispielsweise der A320 Familie wird eine Vielzahl von Daten erfasst, die mit einem Quick Access Recorder aufgezeichnet werden können, um sie nach dem Flug auszuwerten. Die Mehrzahl dieser Daten wird jedoch heute noch nicht für die Instandhaltung genutzt.

Zustandsdiagnose und Lebensdauerprognose

Um aus den verfügbaren Daten Informationen über den Zustand und die verbleibende Lebensdauer einer Komponente gewinnen zu können, bedarf es eines mathematischen Modells der Komponente. Dieses Modell wird verwendet, um aus den gemessenen Daten Merkmale zu generieren, welche beispielsweise einen Verschleißfortschritt anzeigen. Abbildung 3 zeigt schematisch den Verschleißfortschritt einer Komponente als Funktion der Betriebszeit. Durch Festlegung eines Schwellwertes kann der Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem die Komponente ausgetauscht werden sollte, bevor sie ausfällt.

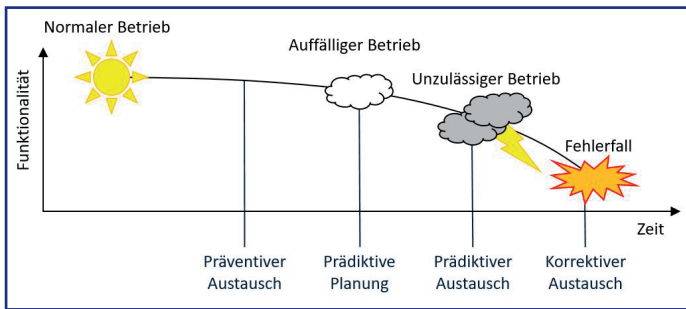


Abbildung 3: Degradation technischer Systeme.

Ein vielversprechender Ansatz zur Generierung der Modelle ist das maschinelle Lernen. Dabei kommen beispielsweise künstliche neuronale Netze oder Support Vector Machines zum Einsatz. Diese werden mit Lerndaten so trainiert, dass sie unterschiedliche Fehlerfälle klassifizieren können. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Echtzeit-Betriebsdaten wird die Bedeutung solcher Verfahren stark zunehmen.

Wenn der Verschleiß einer Komponente stetig erfolgt, kann auch ihre verbleibende Lebensdauer vorhergesagt werden. Dabei kommen in der Regel statistische Modelle zum Einsatz. Abbildung 4 zeigt den Verlauf einer solchen Prognose, bestehend aus dem wahrscheinlichen Verlauf (Mittelwert) und einer Streubreite. Liegt der tatsächliche spätere Verschleißfortschritt innerhalb der Streubreite, so war die Prognose zutreffend. Ist die Prog-

nose zu optimistisch, kann es zu einem ungeplanten Ausfall der Komponente kommen („Missed Alarm“). Umgekehrt führt eine zu pessimistische Prognose zu einem zu frühen Austausch der Komponente, so dass die Lebensdauer nicht optimal ausgenutzt wird („Fehlalarm“). Die Entwicklung optimierter Prädiktionsalgorithmen ist Gegenstand der Forschung am Institut für Flugsysteme und Regelungstechnik (FSR) der TU Darmstadt.

Kosten-Nutzen-Analyse

Eine belastbare Aussage über den wirtschaftlichen Nutzen des Einsatzes prädiktiver Ansätze in der Flugzeuginstandhaltung kann nur gemacht werden, wenn eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesse der Flugzeuginstandhaltung und des Flugbetriebs, der Kosten und der Leistungsfähigkeit der Prädiktionsalgorithmen erfolgt. Das FSR hat dazu in Zusammen-

arbeit mit der Lufthansa Technik AG ein detailliertes Simulations- und Bewertungsmodell erarbeitet, welches in [4] näher beschrieben ist. Mit Hilfe dieser Simulation kann für jede Flugzeugkomponente die optimale Instandhaltungsstrategie ermittelt werden. Darüber hinaus können die Leistungsindikatoren der Prädiktionsalgorithmen so spezifiziert werden, dass ein Kostenvorteil zu erzielen ist.

Uwe Klingauf,
Christoph Anger,
Alexander Köhler

Institut für Flugsysteme
und Regelungstechnik
Technische Universität
Darmstadt

www.fsr.tu-darmstadt.de

Literatur

- [1] International Air Transport Association Maintenance Cost Task Force: Airline Maintenance Cost Executive Commentary, 2015
- [2] Airbus S.A.S.: Airbus Real Time Health Monitoring (AiRTHM), Toulouse 2014
- [3] Boeing Commercial Airplanes: Real-Time Operations Airplane Health Management, Seattle 2012
- [4] A. Köhler, S. Giljohann und U. Klingauf: Cost-Benefit Analysis and Specification of Component-Level PHM Systems in Aircraft. Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, 2014.

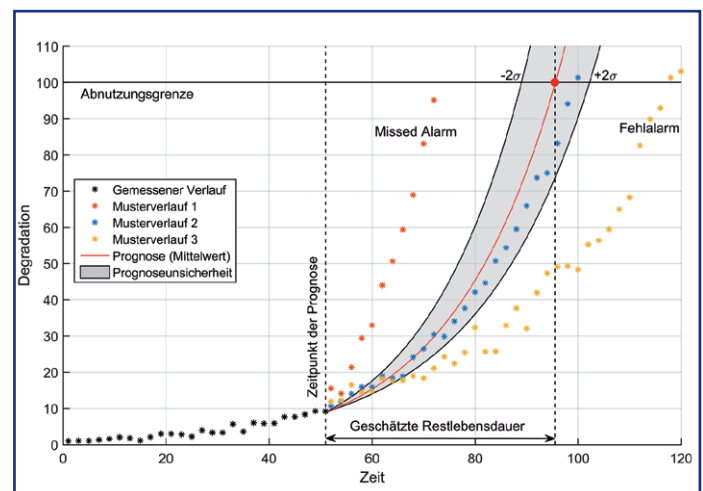


Abbildung 4: Prognose eines Schadensverlaufs.

Anzeige
Kager
210 x 71 mm