

# ZUKÜNFTIGE KABIENENWARTUNGSSYSTEME

Dr.-Ing. Sven-Olaf Berkhahn  
Airbus Deutschland GmbH  
Lüneburger Schanze 30, 21614 Buxtehude  
Deutschland

## 1. EINLEITUNG

Die zivile Luftfahrt gilt heutzutage als eines der sichersten und zuverlässigsten Verkehrsmittel. Ein Grund hierfür sind unter anderem die regelmäßigen Wartungsarbeiten, die bei Flugzeugen durchgeführt werden. Neben den flug- und sicherheitskritischen Systemen werden hierbei auch die Kabine und die elektronischen Kabinensysteme gewartet.

Der Anteil der Wartung von elektronischen Kabinensystemen im Gesamtkontext der Flugzeugwartung wächst stetig, da sowohl die Anzahl wie auch die Komplexität der elektronischen Systeme in der Flugzeugkabine kontinuierlich zunehmen. Die Flugzeugkabine wird zunehmend mit elektronischen Systemen und Netzwerken ausgestattet, um einerseits den Passagieren ein hohes Maß an Komfort sowie mobile Sprach- und Datenkommunikation an Bord zu ermöglichen und um andererseits der Kabinencrew Applikationen für ein optimiertes Kabinenmanagement zur Verfügung zu stellen.

Im Gegensatz zur flug- und sicherheitsrelevanten Avionik sind bei optionalen Komfortsystemen in der Kabine aus Kostengründen zumeist nur geringe oder keine Redundanzen vorgesehen. Dennoch werden ähnlich hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit der elektronischen Kabinensysteme gestellt, um einen gleichbleibend hohen Komfort an Bord zu bieten. So ist beispielweise der Ausfall von Systemen für die mobile Datenkommunikation (d.h. Internetzugang, Telephonie) der Passagiere an Bord vergleichbar mit dem Ausfall eines IT Servers in einem mittelständischen Unternehmen mit über 100 Beschäftigten, wobei das bordgestützte Kommunikationssystem gegenwärtig erst nach der Landung gewartet werden kann.

Damit bei wachsender Komplexität und Integrationstiefe der Kabinensysteme die Anforderungen bezüglich der Verfügbarkeit auch zukünftig erfüllt werden, sind neue Konzepte und Technologien für die Wartung erforderlich. Diese müssen einerseits ein ganzheitliches Wartungskonzept für das Gesamtflugzeug von der Struktur, über die Avionik bis hin zu den Komfortsystemen ermöglichen, aber sie müssen andererseits auch die speziellen Systemarchitekturen in der Kabine berücksichtigen, die durch einen hohen Anteil von kommerziellen Komponenten (COST<sup>1</sup>) und zugelieferten Bauanteilen (BFE<sup>2</sup>) geprägt sind.

Das Ziel von verschiedenen Forschungs- und Entwicklungsprojekten bei Airbus im Bereich der Flugzeugwartung ist der Aufbau eines sogenannten „Global Aircraft Health Management“ Systems. Dieses umfasst die Systemüber-

wachung, die Fehlerdiagnose und Vorhersage von Systemausfällen über die Bord-Boden Datenübertragung bis hin zu der bodenseitigen Infrastruktur für Flottenmanagement und Ersatzteillogistik.

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die aktuellen Forschungsergebnisse im Bereich der Kabinenwartungssysteme, die bisher unter anderem im Rahmen des Verbundvorhabens KATO<sup>3</sup> erzielt wurden und die zu dem zuvor beschriebenen Ziel beitragen.

## 2. FLUGZEUGWARTUNG HEUTE

Zivile Verkehrsflugzeuge unterliegen regelmäßigen, fest definierten Wartungszyklen, den sogenannten A-, B-, C- und D-Checks. Abhängig von den geleisteten Flugstunden werden die Strukturen, die mechanischen und elektrischen Systeme des Flugzeuges überprüft, wobei der A-Check den kürzesten Wartungsintervall mit der geringsten Umfang an Wartungsarbeiten beschreibt und der D-Check als längster Wartungsintervall eine vollkommene Überarbeitung des gesamten Flugzeuges inklusiver aller Systeme umfasst.

Zusätzlich werden die Systeme des Flugzeuges nach jedem Flug bei der sogenannten Line-Maintenance während der Standzeit am Gate nach aufgetretenen Fehlern überprüft und es werden dann gegebenenfalls zwingend erforderliche Reparaturen von sicherheitskritischen Systemen durchgeführt. Bei unkritischen Systemfehlern, die keine unmittelbare Auswirkung auf die Sicherheit des nächsten Fluges haben, wie zum Beispiel bei Komfortapplikationen für die Passagiere, können Wartungsarbeiten auch bis zum nächsten größeren Check verschoben werden. Die Entscheidung, ob auch Komfortsysteme in der Kabine unmittelbar am Gate instand gesetzt werden, trifft die Airline abhängig von ihrem jeweiligen Geschäftsmodell. Denn hier liegt die Spanne zwischen Lowcost Carrier und Premium Airline, was sich auch in Verfügbarkeit des für die Passagiere angebotenen Komforts bzw. der Verfügbarkeit von Komfortsystemen widerspiegeln kann.

Die Arbeiten während der Line Maintenance müssen in möglichst kurzer Zeit durchgeführt werden, um die Standzeiten (Turn Around Time, TAT) des Flugzeuges am Gate möglichst gering zu halten. Dies ist insbesondere bei Kurzstreckenflugzeugen erforderlich, da hier die TAT oftmals sehr kurz ist, um eine maximale Anzahl von Flügen pro Tag zu ermöglichen.

Dem Ziel einer kurzen TAT steht jedoch die Tatsache entgegen, dass heutzutage die Line Maintenance in erster

<sup>1</sup> Commercical of the Shelf

<sup>2</sup> Buyer Furnished Equipment

<sup>3</sup> Innovative Kabinentechnologien

Linie durch reaktive Prozesse geprägt ist.

Zum einen können detaillierte Fehlerreports erst nach der Landung des Flugzeuges aus dem bordgestützten Wartungssystem ausgelesen werden. Nach der Analyse der Fehlerreports durch den Wartungsmechaniker werden anschließend die defekten Systeme überprüft. Wenn die Überprüfung ergibt, dass Ersatzteile für die Reparaturen erforderlich sind, so können diese erst jetzt aus dem Lager beschafft und eingebaut werden. Dies führt dazu, dass die notwendige Zeit für Wartungsarbeiten am Gate teilweise der limitierende Faktor bei einer weiteren Verkürzung der TAT bildet.

Zum anderen sind die heutigen bordgestützten Flugzeugwartungssysteme so ausgelegt, dass erst bei Ausfall von Systemkomponenten Fehlerreports erzeugt werden, die dann oftmals zu zwingend erforderlichen Reparaturmaßnahmen während der Standzeit am Gate führen. Eine Systemzustandsüberwachung (System Condition Monitoring) zur Vorhersage von Systemausfällen und damit einhergehend eine frühzeitige Planung von umfangreichen Wartungsarbeiten, wie zum Beispiel eine Verschiebung bis zu einem der nächsten regulären Wartungs-Checks, ist daher kaum möglich. Erste Implementierungen für ein System Condition Monitoring sind im Bereich der Triebwerkswartung und bei der A380 für die Avionik realisiert.

Im Folgenden soll nun ein Einblick in die zukünftige Weiterentwicklung insbesondere auf dem Gebiet der Kabinenwartung gegeben werden, in dem einige Ergebnisse von aktuellen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben vorgestellt werden.

### 3. DIGITAL CABIN LOGBOOK

Ein wesentlicher Baustein für ein zukünftiges integriertes Flugzeugwartungssystem ist das Digital Cabin Logbook (DCL), welches eine systematische elektronische Erfassung von Defekten in der Kabine ermöglicht.

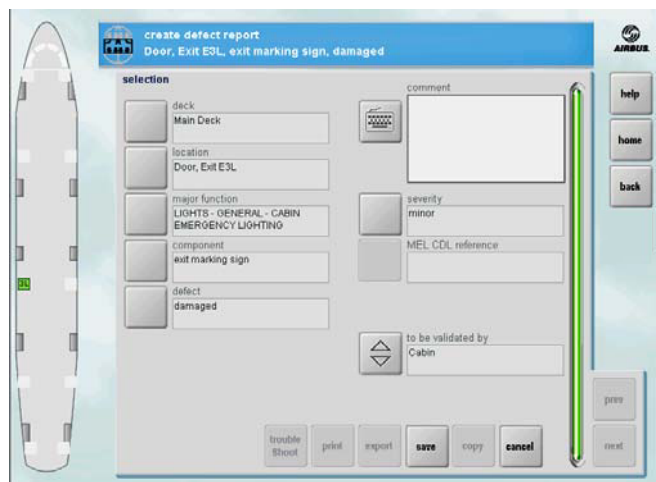
Die Motivation zur Entwicklung des DCL liegt in der Tatsache begründet, dass bis heute Defekte von mechanischen und elektrischen Kabinensystemen, die von der Kabinen Crew während des Fluges festgestellt werden, handschriftlich als Report auf Papier erfasst werden. Mit dem Report werden beispielsweise gebrochene Armlehnen, defekte Leselampen, ausgefallene IFE<sup>4</sup> Monitore oder tropfende Wasserhähne festgehalten. Nach der Landung werden die handschriftlichen Notizen von der Kabinen Crew an die Maintenance Crew überreicht, die dann entsprechende Reparaturmaßnahmen durchführt.

Bei dem heutigen Verfahren sind mehrere Nachteile offensichtlich: Die Beschreibung und Lokalisierung der beobachteten Defekte ist aufgrund der handschriftlichen Notizen nicht immer eindeutig, die Schrift kann unleserlich sein und bei Störungen von elektronischen Komponenten erfolgt keine Korrelation mit den Fehlermeldungen der Steuergeräte, die gleichzeitig vom zentralen Wartungssystem automatisch erfasst werden.

<sup>4</sup> In-Flight Entertainment

Das DCL hingegen bietet nun die Möglichkeit die Defekte in der Kabine elektronisch und systematisch zu erfassen. Hierfür sind alle sichtbaren Bauteile der Kabine sowie alle denkbaren Defekte, die bei diesen Bauteilen auftreten können in einer Datenbank erfasst. Zusätzlich ist in der Datenbank das aktuelle Layout der Kabine, das die Anordnung von Sitzen, Toiletten und Bordküchen beschreibt, hinterlegt. Wird ein Defekt in der Kabine beobachtet, kann die Kabinen Crew über eine grafische Bedienoberfläche, die den schematischen Aufbau der Kabine darstellt, den genauen Einbauort eines Bauteils und den jeweils festgestellten Fehler eindeutig auswählen und in einem elektronischen Logbuch speichern.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des DCL ist die elektronische Erfassung von Defekten rein mechanischer Bauteile, die heute und auch in Zukunft über keine Sensoren zur



automatischen Fehlererfassung verfügen werden.

FIG 1. Screenshot des Digital Cabin Logbook

Die Daten werden zusammen mit dem digitalen Logbuch des Cockpits in einer gemeinsamen Fehlerdatenbank gesammelt und können mit den im zentralen bordseitigen Wartungssystem gespeicherten Fehlermeldungen korreliert werden. Darüber hinaus bietet die elektronische Erfassung der Defekte im DCL die Möglichkeit, über Bord-Boden Datenfunkstrecken die Fehlermeldungen der Wartungs-Crew schon vor der Landung zu übermitteln, so dass entsprechende Werkzeuge und Ersatzteile frühzeitig aus dem Lager beschafft und am Gate für die Line Maintenance bereitgestellt werden können.

Das DCL wird erstmals im neuen Airbus Großraumflugzeug A380 serienmäßig eingesetzt.

### 4. WEARABLE MAINTENANCE COMPUTING

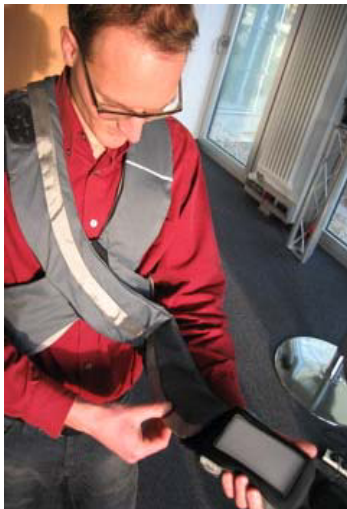
Ein besonderes Merkmal von Kabinensystemen ist die starke räumliche Verteilung der einzelnen Komponenten in der Kabine bzw. im gesamten Flugzeug. Dies hat unmittelbare Einfluss auf die erforderlichen Arbeitsabläufe bei der Wartung von Kabinensystemen, da die Wartungsmechaniker defekte Bauteile über die gesamten Kabine verteilt reparieren oder austauschen müssen.

Daher befasst sich das Teilprojekt „Effiziente Kabinenmanagement- und Wartungsfunktionen“ des Forschungsvorhabens KATO mit der Entwicklung eines mobilen Wartungsterminals, der einen drahtlosen Zugang von jedem Punkt in der Kabine auf den zentralen Wartungsrechner des Flugzeuges ermöglicht.

Eine wesentliche Anforderung an das mobile Wartungsterminal ist es, dem Wartungsmechaniker auch bei schwer zugänglichen Einbauorten von defekten Komponenten die Navigation im Menü der Wartungssoftware und somit den Zugriff auf Fehlermeldungen und die zugehörige Dokumentation (Reparaturanleitungen, technische Dokumentationen, etc.) zu ermöglichen, ohne dass er hierfür seinen Arbeitsablauf unterbrechen und seine Werkzeuge aus der Hand legen muss. Denn derzeitige mobile Wartungsterminals basieren zumeist auf Laptop oder PDA und müssen mittels Tastatur, Maus oder elektronischem Stift bedient werden.

Um die zuvor beschriebenen Anforderungen zu erfüllen, wurde ein „Wearable Computer“<sup>5</sup> für die Kabinenwartung entwickelt, der in Form einer speziellen Arbeitsweste realisiert wurde, die der Wartungsmechaniker während seiner Arbeit trägt.

Die Wartungsweste besteht im Wesentlichen aus einem miniaturisiertem PC, einem „Head Mounted Display“ (HMD) und einem elektronischen Datenhandschuh. Eine drahtlose Tastatur ist ebenfalls Bestandteil der Wartungsweste, die bei Bedarf zusätzlich für Texteingaben genutzt



werden kann.

FIG 2. Darstellung der Maintenance-Weste

Das HMD ist ein kleiner LCD Monitor, der an einer Brille befestigt einige Zentimeter vor einem der Augen sichtbar ist und dem Mechaniker das Navigationsmenü des zentralen bordgestützten Wartungsrechners anzeigt, ohne dass dabei das Sichtfeld des Nutzers eingeschränkt wird. Das HMD unterstützt bei einer Größe von ca. 1 Zoll Bildschirmdiagonale eine Auflösung von 640x480 Bildpunkten.

<sup>5</sup> Unter Wearable Computer (engl. „kleidbare Rechner“) versteht man Rechnersysteme, die man wie Textilien am Körper tragen kann.

Eine besondere Herausforderung hierbei ist die Entwicklung einer geeigneten Darstellung von detaillierten Informationen, die auch bei wechselnden Hintergrundkontrasten leserlich bleibt.

Über den elektronischen Datenhandschuh, der mit Bewegungssensoren und Drucksensoren in der Innenhand ausgestattet ist, kann man durch leichte Kippbewegungen der Hand im Softwaremenü navigieren und Aktionen mit den Drucksensoren auslösen. Über eine drahtlose Bluetooth Verbindung werden die erkannten Navigationskommandos an den in der Weste befindlichen PC übertragen. Ferner ist der Datenhandschuh mit einem RFID<sup>6</sup> Scanner für die Ortung des Wartungsmechanikers in der Kabine ausgestattet. Berührt der Mechaniker mit dem Handschuh einen an bestimmten Punkten der Kabine befindlichen RFID Tag, so werden ihm auf dem HMD alle defekten Bauteile angezeigt, die sich in seiner unmittelbaren Umgebung befinden.

Der Miniatur-PC bildet die Schnittstelle zwischen den Peripheriegeräten der Wartungsweste und dem zentralen Wartungssystem an Bord des Flugzeugs, mit dem der PC über eine WLAN Verbindung drahtlos kommuniziert.

In einem weiteren Schritt werden derzeit neben dem Datenhandschuh auch Möglichkeiten zum Einsatz einer Sprachsteuerung für die Navigation in der Wartungssoftware untersucht. Hierbei müssen die speziellen Randbedingungen in der Flugzeugwartung berücksichtigt werden. So muss die Spracherkennung aufgrund des internationalen Einsatzes von Flugzeugen einerseits robust sein gegenüber unterschiedlichen Aussprachen der Steuerungskommandos und andererseits müssen Störgeräusche unterdrückt werden, die innerhalb und außerhalb der Kabine durch die Klimaanlage und die Triebwerke entstehen können.

## 5. VORBEUGENDE WARTUNG FÜR KABINENSYSTEME

Ein weiterer Schwerpunkt des KATO Teilvorhabens „Effiziente Kabinenmanagement- und Wartungsfunktionen“ ist die Untersuchung von Methoden zur Bewertung des aktuellen Systemzustands, um eine mögliche Degradation und folglich den Bedarf an Wartungsarbeiten rechtzeitig zu erkennen, damit Systemausfälle vermieden werden können.

Die Vorhersage von Ausfällen ist gerade für Komfortsysteme in der Kabine besonders interessant, da diese oftmals aus Kosten- und Gewichtsgründen nur einfach redundant im Flugzeug vorhanden sind. Ein Ausfall eines Teilsystems hat somit in der Regel unmittelbar Auswirkungen auf den Komfort der Passagiere in der Kabine.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Methoden aus dem Bereich der „Computational Intelligence“ (CI) für die Klassifizierung von gemessenen Sensordaten der Kabinensysteme untersucht. Die untersuchten Methoden gliedern sich in die Bereiche „Adaptive Resonance Theory“, „Reinforcement Learning“, „Sup-

<sup>6</sup> Radio Frequency Identification

port Vector Machines“ und „Instance Based Learning“. Im letztgenannten Bereich wurde insbesondere die weit verbreitete Methode „Nearest Neighbor“ betrachtet.

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Erfassung des aktuellen Systemzustands ist bei allen Methoden identisch und soll im Folgenden kurz erläutert werden.

Die Eingangswerte für die Bewertung des Systemzustandes sind Sensordaten, die innerhalb des Systems gemessen werden. Die Art der Sensordaten können je nach System sehr unterschiedlich sein. Für Kabinensysteme sind hier beispielhaft Temperaturen, Stromverbräuche, Intensität von Lichtquellen in der Kabine sowie Fehler bei Schreib- und Lesezugriffen im RAM-Speicher oder bei Festplatten zu nennen.

Die gemessenen Rohdaten  $X_n$  werden zunächst gefiltert, um ein mögliches Signalrauschen zu minimieren. Die Eigenschaft des eingesetzten Filters  $f$  ist dabei auf die Art der Signalquelle abgestimmt. In einem weiteren Schritt werden die gefilterten Rohdaten  $X_m$  mit Hilfe einer der oben genannten CI Methoden in vordefinierte Fehlermuster klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt anhand der Parameter Fehlerklasse  $c$ , einer Wahrscheinlichkeit  $p$  und weiterführenden Erläuterungen  $E$ .

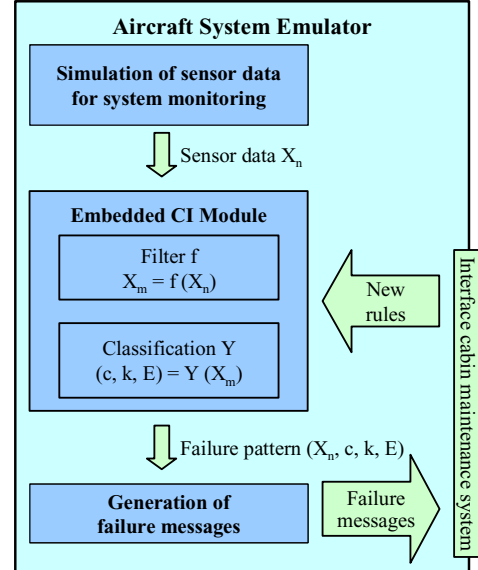
FIG 3. Prinzip der Zustandsdiagnose von Kabinensystemen aus Basis von CI Methoden

Die Fehlerklasse beschreibt die Art des Fehlers bzw. den Systemzustand, dem ein Messwert  $X_m$  zugeordnet wurde. Wie zuverlässig der Systemzustand detektiert wurde, wird durch die Wahrscheinlichkeit  $p$  ausgedrückt. Bei einer Klassifizierung mittels der Nearest Neighbor Methode ist dies der normierte Kehrwert des Abstands zum Schwerpunkt des jeweils zugeordneten Systemzustand-Clusters. Mit Hilfe der Erläuterung  $E$  ist es möglich noch zusätzliche Informationen mit zu übertragen, die für die weitere Bearbeitung genutzt werden können. Denkbar sind hier Angaben über die verbleibende Restzeit bis eine Wartung des Systems zwingend erforderlich wird oder aber über den Systemzustand-Cluster, der dem Messwert am zweitnächsten liegt.

Die auf diese Weise klassifizierten Messwerte werden zum zentralen Wartungssystem des Flugzeuges übertragen. Dort werden die Fehlermuster abgespeichert und abhängig vom erkannten Systemzustand als Warnung, dass Wartungsarbeiten notwendig sind, um einen Systemausfall vorzubeugen, oder als Systemausfall angezeigt.

Ein wesentlicher Bestandteil der untersuchten Methoden ist ihre Fähigkeit, die Regeln, nach denen die Klassifizierung erfolgt, adaptiv anzupassen. Wird ein Systemzustand falsch detektiert, so kann der Wartungsmechaniker oder ein Systemexperte die fehlerhafte Diagnose korrigieren und den Klassifikationsalgorithmus anpassen. Auf diese Weise können die Systemzustand-Cluster der Nearest Neighbor Methode erweitert oder aber deren Schwerpunkte verschoben werden.

Eine besondere Herausforderung bei der Anwendung von CI Methoden für die Zustandsdiagnose von Kabinensystemen liegt darin, dass bei Verwendung von COTS Komponenten oftmals nur wenige Sensordaten zur Verfügung



stehen. Durch den Einsatz spezieller Hardware können jedoch entsprechende Monitore teilweise nachgerüstet werden.

Nachdem auf Basis einer Simulation die grundlegende Funktionsweise der Systemzustandsdiagnose mittels der Klassifikation von Sensordaten der Kabinensysteme entwickelt wurde, soll die Diagnose in weiteren Schritten anhand eines Kabinenlichtsteuergerätes in der Praxis erprobt werden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG AUSBLICK

Alle zuvor beschriebenen Projekte bilden Meilensteine auf dem Weg hin zu einem ganzheitlichen Flugzeugwartungssystem für Avionik- und Kabinensystem, welches den gesamten Wartungsprozess umfasst von der Erfassung und Auswertung von Sensordaten, über Diagnose und Prognose von Systemausfällen bis hin zu den Arbeitsabläufen der Wartungstechniker.

Ein weiterer Aspekt eines ganzheitlichen Flugzeugwartungssystems ist die Anbindung des bordseitigen Wartungssystems an die bodenseitige Infrastruktur der Fluggesellschaften. Bereits heute werden einfache Fehlerreports während des Fluges vom Flugzeug zum Boden übertragen. Gerade bei Kabinenkomfortsystemen, die keine Sicherheitsrelevanz für das Flugzeug haben, ist eine bidirektionale Datenkommunikation für Wartungsarbeiten vorgesehen, so dass sich ein Techniker vom Boden aus auf die bordseitigen Kabinensysteme einloggen kann und gegebenenfalls Reparaturmaßnahmen, wie zum Beispiel Software-Reboots und -Updates durchführen kann.

Außerdem ist die Verwendung von offenen Standards für den Datenaustausch auf allen Kommunikationsebenen eines Wartungssystems - von der Sensordatenerfassung bis zum Darstellung von Fehlern auf einem Wartungsterminal - gerade für Kabinensysteme interessant, da in diesem Bereich heutzutage vermehrt COTS Komponenten zum Einsatz kommen, die einen Teil der Standards bereits unterstützen. OSA-CBM<sup>7</sup> bildet hier einen ersten, sehr vielversprechenden Ansatz, der von mehreren Industriezweigen getragen wird.

<sup>7</sup> Open System Architecture - Condition Based Monitoring