

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	77 (1986)
Heft:	15
Artikel:	Entwicklung des Unterhaltskonzeptes für ein Verkehrsflugzeug am Beispiel der Swissair Airbus A310
Autor:	Fürst, A.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904234

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Entwicklung des Unterhaltskonzeptes für ein Verkehrsflugzeug am Beispiel der Swissair Airbus A310

A. Fürst

Der Ertragsausfall eines nicht einsatzbereiten Grossraumflugzeugs bewegt sich in der Grössenordnung von mehreren hunderttausend Franken pro Tag. Aus dieser Tatsache erklärt sich der grosse Aufwand, den die Lufttransportindustrie bei der Erarbeitung neuer Unterhaltskonzepte, wie z. B. beim hier beschriebenen Maintenance-Konzept für den Airbus A310, betreibt.

La perte de rendement d'un grand avion indisponible est de l'ordre de plusieurs centaines de mille francs par jour, ce qui explique l'effort important que consacre l'industrie des transports aériens à l'élaboration de nouveaux concepts d'entretien, par exemple à celui pour l'Airbus A 310 décrit ici.

Adresse des Autors

A. Fürst, Chef Planung Unterhalt und Produktion
Swissair AG, 8058 Zürich-Flughafen.

1. Aufgabe des Departements Technik

Das Departement Technik der Schweizerischen Luftverkehrs-Gesellschaft Swissair hat mit seinen 2800 Mitarbeitern eine sehr komplexe Unterhaltsaufgabe zu erfüllen. Flugzeuge stellen bezüglich technologischer Vielfalt und Komplexität sowie der Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen sehr hohe Ansprüche an den Unterhalt, der zum Teil sogar durch gesetzliche Bestimmungen geregelt wird. Die Planung wird dadurch erschwert, dass Zeitpunkt, Art und Umfang vieler Arbeiten erst nach den entsprechenden Kontrollen bekannt sind, die Arbeit dann aber sehr rasch erledigt werden muss, damit die Zuverlässigkeit und der pünktliche Einsatz der Flugzeuge gewährleistet ist. Maintenance-Arbeiten werden zudem nicht nur an der Swissair-Flotte (52 Flugzeuge) durchgeführt, sondern auch an Flugzeugen der Partner aus der KSSU-Gruppe, die folgende Fluggesellschaften umfasst: KLM, SAS, Swissair, UTA. Unter den Partnern werden gleichartige Arbeiten nach wirtschaftlichen Überlegungen aufgeteilt. Zusammen mit bilateral vereinbarten Maintenance-Arbeiten für weitere andere Fluggesellschaften werden etwa 45% der Kapazität des Departements Technik für fremde Flugzeuge, Triebwerke, Flugzeugbauteile und Geräte eingesetzt.

Die Flugzeug-Maintenance hat grundsätzlich zur Aufgabe, die Flugtüchtigkeit und Sicherheit der Flugzeuge zu erhalten, und das unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Gesichtspunkte. Um die Überlegungen, die den heutigen Lösungen dieser Aufgabe zugrunde liegen, besser zu verstehen, ist es nützlich, die Entwicklung der Unterhaltskonzepte einmal zu verfolgen.

2. Entwicklung der Unterhaltskonzepte

In den ersten vierzig Jahren der Fliegerei ging man davon aus, dass mechanische Teile sich abnutzen, dass Abnützungen zu Störungen führen und dass Störungen die Flugsicherheit gefährden. Diese Annahmen führten zur Begrenzung der Abnutzung durch Maintenance-Arbeiten, die alle *zeitabhängig*, das heißt nach einer im voraus bestimmten Festzeit auszuführen waren. Im Hinblick auf die relative Einfachheit der damals verwendeten Flugzeugsysteme und -komponenten waren diese Arbeiten vernünftig. Man weiß heute, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit von einfachen Einheiten einer Badewannenkurve folgt (Fig. 1) und dass deshalb eine Überholungsfestzeit am Steigungsbeginn dieser Kurve wirksam und wirtschaftlich ist.

Von 1950 bis 1960, als die Douglas DC-6 und die Lockheed Constellation den grössten Teil der Arbeit bei den internationalen Luftlinien verrichteten, wurden die Maintenance-Überlegungen um einen Punkt erweitert. Es hatte sich gezeigt, dass eine Anzahl potentieller Störungen durch regelmässi-

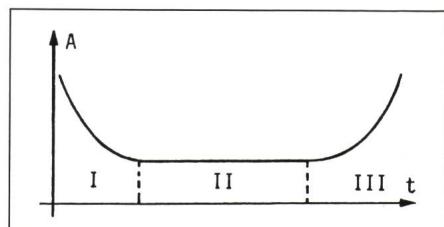


Fig. 1 Ausfallwahrscheinlichkeit einfacher Einheiten

- A Ausfallwahrscheinlichkeit
t Zeit
I Frühausfälle
II konstante Ausfallrate
III durch Abnutzung bedingte, steigende Ausfallrate

ge Zustandskontrollen erkannt und vermieden werden konnten. Damit waren die *zustandsabhängigen* Arbeiten in die Flugzeug-Maintenance-Programme aufgenommen worden.

Die Annahme, dass Störungen die Sicherheit gefährden, war schon bei den mehrmotorigen Kolbenflugzeugen nur noch beschränkt zutreffend. Aber in den fünfziger Jahren war die Zeit noch nicht reif, um die unterhalts-technischen Konsequenzen aus der grösseren Sicherheit der verdoppelten (redundanten) Systeme und Komponenten zu ziehen. Mit der Einführung der Düsenflugzeuge und ihren zahlreichen neuen Komponenten begann aber in den sechziger Jahren eine Neuorientierung der Maintenance-Überlegungen. Es zeigte sich, dass das bisherige Ziel, die *Flugsicherheit* durch das Vermeiden von Störungen zu gewährleisten, nicht mehr realistisch war, weil die Sicherheit nur noch von ganz wenigen Störungen gefährdet wurde. Das neue Maintenance-Ziel hieß, die *Zuverlässigkeit* der Systeme und Komponenten zu verbessern und damit den wirtschaftlichen Einsatz der Flugzeuge sicherzustellen.

Die Zuverlässigkeit von Hunderten von Komponenten mit Millionen von Flugstunden wurde industrieweit mit besonders entwickelten *Zuverlässigkeitsprogrammen* untersucht. Zum Beispiel wurden die Überholungsfestzeiten von hydraulischen Pumpen bis auf 15 000 Flugstunden erhöht und schliesslich abgeschafft. Die Auswertungen hatten gezeigt, dass die Höhe der Festzeit keinen Einfluss auf die Ausfallrate dieser Pumpen hatte. Allgemein gelangte man mit Hilfe dieser Untersuchungen zu der Erkenntnis, dass komplizierte Geräte – im Gegensatz zu einfachen oder einzelligen Geräten – durch regelmässige Überholungen nicht zuverlässiger gemacht werden können. Diese Erkenntnis musste aber für ihre praktische Anwendung noch einige Jahre warten.

Die in den sechziger Jahren gültigen und angewendeten Maintenance-Grundlagen lassen sich wie folgt beschreiben:

Mechanische Teile nutzen sich ab, diese Abnützungen führen zu Störungen. Diese Störungen verringern die Zuverlässigkeit, aber nicht die Sicherheit. Mit entsprechenden Überwachungsprogrammen und Zustandskontrollen wird die Zuverlässigkeit gewährleistet. Diese Grundlagen führten zu Maintenance-Arbeiten, die zeitabhängig, zustandsabhängig oder von

Fig. 2
Heavy Maintenance an einer DC-9 und an einem DC-10-Grossraumflugzeug (rechts)



Zuverlässigsprogrammen abhängig waren.

Mit der Einführung der Grossraumflugzeuge im Jahr 1970 war der Zeitpunkt für die nächste Anpassung der Maintenance-Grundlagen gekommen (Fig. 2). Die Zuverlässigsprogramme der sechziger Jahre hatten das Wissen geliefert, um den Schritt zur *störungsbedingten* Maintenance wagen zu können. Störungen hatten schon immer behoben werden müssen. Aber jetzt waren die meisten Flugzeugsysteme störungstolerant genug, um der störungsbedingten Maintenance einen festen Platz im Maintenance-Programm zuweisen zu können.

Die entscheidenden Voraussetzungen für die Erweiterung der Maintenance-Grundlagen waren von den Herstellern bereits in der Entwicklungsphase der Grossraumflugzeuge geschaffen worden. *Fail Safe*-Strukturen, *Safe Life*-Einzelteile, Drei- und Vierfachsysteme, eingebaute Testgeräte, integrierte Datenüberwachungssysteme und eine allgemein grössere Wartungsfreundlichkeit hatten die Maintenance-Aufgabe an den Jumbos relativ vereinfacht.

Trotzdem waren die zu erwartenden Maintenance-Kosten und maintenancebedingten Ertragsausfälle noch sehr hoch. Sie waren so hoch, dass Luftlinien, Flugzeughersteller und Überwachungsbehörden schon lange vor dem ersten Einsatz der Flugzeuge gemeinsam umfangreiche Untersuchungen anstellten. Das Ergebnis ihrer Arbeiten war vor allem ein Entscheidungsdiagramm für die Erarbeitung von Maintenance-Programmen. Die dabei verwendeten grundsätzlichen Überlegungen sind im wesentlichen heute noch gültig und lauten:

- Mechanische Teile nutzen sich ab.
- Zuverlässigkeit ist konstruktions-abhängig.
- Genügende Maintenance gewährleistet gleichbleibende Zuverlässigkeit.
- Mehr als genügende Maintenance verbessert die Zuverlässigkeit nicht, aber ungenügende Maintenance kann sie beeinträchtigen.
- Konstruktionsänderungen sind notwendig, um die Zuverlässigkeit zu verbessern.
- Es gibt nur drei grundsätzliche Maintenance-Prozesse: zeitabhängige, zustandsabhängige und störungsbedingte Maintenance.
- Die Funktion und die Störungsart einer Einheit können mit einem Entscheidungsdiagramm (MSG-2) untersucht werden, um die Art der für diese Einheit notwendigen Maintenance festzulegen.

3. Entscheidungsdiagramm MSG-2

Das bereits genannte Entscheidungsdiagramm hat sich unter dem Namen MSG-2 zum entscheidungsfällenden Werkzeug für die Bearbeitung von Maintenance-Programmen entwickelt. Das Entscheidungsdiagramm MSG-2 stellt für alle aus der Sicht der Maintenance bedeutsamen Einheiten (Systeme, Geräte, Einzelteile) folgende 5 Schlüsselfragen:

- a. Ist eine Zunahme der Störungsanfälligkeit (Abnahme der Störungsresistenz) dieser Einheit vom *Piloten* erkennbar?
- b. Ist eine Zunahme der Störungsanfälligkeit (Abnahme der Störungsresistenz) dieser Einheit vom *Mechaniker* erkennbar?

- c. Gefährdet eine Störung dieser Einheit die *Flugsicherheit*?
- d. Ist die Funktion dieser Einheit aus der Sicht des Piloten *versteckt*?
- e. Ist die Zuverlässigkeit dieser Einheit *altersabhängig*?

Die Analyse der Antworten auf diese Fragen und das Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsbeurteilung führen zu dem Maintenance-Prozess, der für die untersuchte Einheit möglich, notwendig und wirtschaftlich ist.

Diese Beschreibung der MSG-2-Anwendung ist sehr stark vereinfacht. Sie geht auch nicht auf die speziellen Fragen der Triebwerk- und Strukturbewertung ein. Aber sie lässt das Prinzip des logischen, systematischen Vorgehens bei der Erstellung eines Maintenance-Programms erkennen. Und in dieser Systematik, in diesem Versuch, alle Störungsmöglichkeiten zu berücksichtigen, liegt der Wert des Entscheidungsdiagramms.

4. Entscheidungsdiagramm MSG-3

Nach einigen Jahren Erfahrung mit dem MSG-2 zeigte sich, dass dieses noch auf einigen Gebieten verbessert war. Das MSG-2 wurde 1980 zum MSG-3 weiterentwickelt. Das MSG-3 enthält wesentliche Verbesserungen, unter anderem ein spezielles Entscheidungsdiagramm für die Flugzeugstruktur. Es wurde bei der Festlegung der Maintenance-Arbeiten für die Swissair-A310-Flotte und für die Boeing-B767-Flugzeuge benutzt. Die wichtigsten Verbesserungen des neuen MSG-3-Entscheidungsdiagramms sind:

Die Maintenance-Arbeiten werden jetzt direkt bestimmt, nicht mehr die drei Maintenance-Prozesse. Das MSG-3 unterscheidet klar zwischen *Sicherheit* und *Wirtschaftlichkeit*. Neu ist ein Entscheidungsdiagramm zur Beurteilung der Flugzeugstruktur. Damit wird den neuen Konstruktionsanforderungen der amerikanischen Überwachungsbehörden Rechnung getragen. Störungen von Funktionen, welche bei der Normaloperation nicht ersichtlich sind, werden besser berücksichtigt. Die Service- und Schmierarbeiten werden festgelegt, und Auswirkungen von Mehrfachfehlern werden besser berücksichtigt.

Beim MSG-3 werden, ähnlich wie beim MSG-2, für alle aus der Sicht der Maintenance wichtigen Einheiten die Fehlerauswirkungen mit 4 Schlüssel-

fragen ermittelt. Als Resultat dieser Fragen erhalten wir 5 Kategorien von Fehlerauswirkungen:

- a. Auswirkungen auf die Flugsicherheit,
- b. Auswirkungen auf die Flugzeug-Operation (Wirtschaftlichkeit),
- c. Auswirkungen rein wirtschaftlicher Natur,
- d. Auswirkungen versteckter Funktionen auf die Flugsicherheit,
- e. Auswirkungen versteckter Funktionen auf die Wirtschaftlichkeit.

Im zweiten Schritt werden dann mit 6 Fragen die möglichen Arbeiten:

- Service- und Schmierarbeiten,
- Überwachung durch die Flugzeugbesatzung,
- Inspektionen/Funktionskontrollen,
- Aufarbeitung/Instandsetzung,
- Ersetzen

oder eine Kombination dieser Arbeiten, direkt bestimmt.

5. Maintenance-Planung

Gesamthaft führt das Entscheidungsdiagramm MSG-3 zu einer Liste aller planbaren Maintenance-Arbeiten, die für die Erhaltung der Sicherheits- und Zuverlässigkeitseigenschaften unserer Flugzeuge notwendig sind. Damit ist der erste Teil der Maintenance-Aufgabe erfüllt. Der zweite Teil besteht darin, die Ausführung dieser Arbeiten so zu planen, dass sich ein maximaler kommerzieller Flugzeugeinsatz und minimale Kosten in einem optimalen Arbeitsprogramm treffen. Die Planungsaufgabe wird dadurch erschwert, dass auch nicht planbare, störungsbedingte Arbeiten in dem Programm berücksichtigt werden müssen. Am Flugzeug werden im Durchschnitt gleich viele Stunden für vorbeugende

wie für störungsbedingte Maintenance aufgewendet. Dieser Erfahrungswert hat sich im Laufe der Jahre immer wieder bestätigt. Er erlaubt, die Maintenance-Planung auf die vorbeugenden Arbeiten auszurichten und die Störungen mit einer einfachen Verdoppelung der Arbeitskapazität aufzufangen.

6. Maintenance-Programm A310

Für die Swissair-A310-Flotte lassen sich die gegenwärtigen Anforderungen des kommerziellen Einsatzes und die Maintenance-Anforderungen am besten mit folgendem Programm erfüllen:

- | | |
|----------------------------------|--|
| - L/V-Check: | nach jedem Flug
vor jedem Start |
| - Daily Check: | täglich |
| - Weekly Check: | wöchentlich |
| - A-Check: | nach 350
Flugstunden |
| - C-Check: | nach 15 Monaten |
| - Heavy
Maintenance
Visit: | nach 4...5 Jahren
(der genaue
Zeitpunkt wird
noch festgelegt) |

Diese Checks und Visits (Fig. 3, 4, 5) sind der Rahmen des A310-Maintenance-Programms. Sie bestimmen den Zeitpunkt und die Länge der Maintenance-Standzeiten. Alle übrigen Arbeiten, die aufgrund ihrer Ausführungsperioden nicht direkt in diesen Rahmen hineinpassen, werden von der Planung in die jeweils nächstliegende Standzeit eingeordnet. Die fortlaufend anfallenden Modifikationen werden ebenfalls in diese Arbeitspakete eingeplant. Neubemalungen und Kabinenauffrischungen werden in der Heavy Maintenance Visit ausgeführt.

Fig. 3
Swissair A 310 in der Werft





Fig. 4 A 310 während des C-Checks in der Werft 2 der Swissair

Dieses Programm deckt die Gesamtheit der vorbeugenden und die grosse Mehrheit der störungsbedingten Arbeiten ab. Zeitlich begrenzte Grossmodifikationen und veränderte Einsatzbedingungen haben bei den B747- und den DC-10-Flugzeugen schon mehrere Male zusätzliche Spezialstandzeiten erforderlich gemacht. Das ist einer der Gründe, weshalb die Flugzeug-Maintenance-Programme der Zukunft vielleicht weniger feste Arbeitspakete kennen werden. Es ist denkbar, dass in einigen Jahren die laufend wechselnden Forderungen des Flugzeugeinsatzes, der Maintenance, der Arbeitskapazität und Materialbewirtschaftung mit massgeschneiderten Arbeitspaketen, einer sogenannten «dynamischen Paketierung», besser erfüllt werden

können. Damit sich die Swissair auch in der Zukunft diesen rasch wechselnden Anforderungen anpassen kann, werden Überlegungen in diese Richtung vorangetrieben.

7. Einsatz von EDV in der Flugzeug-Maintenance

Die für das Swissair-Reservationsystem installierten Grossanlagen und die Erfahrung mit Realtime-Systemen erlaubten, auch für die Probleme anderer Bereiche anspruchsvollere Lösungen in Betracht zu ziehen. Als erstes wurde dies im Departement Technik verwirklicht. Dort hatte man vorher bei separaten Projekten EDV für Einzelfunktionen eingesetzt. Dies führte im Laufe der Zeit zu vielen Überschneidungen und zur Mehrfacherfassung von gleichen Daten. Aus diesem Grunde entschied man sich 1969, die zukünftigen Automationen nur noch im Rahmen eines integrierten Maintenance Control Systems (MCS) durchzuführen. Der Gesamtumfang dieses Grossprojektes zwang zu einer Aufteilung in überblickbare Teilprojekte, sogenannte Segmente, die innerhalb des Gesamtrahmens einzeln entwickelt und eingeführt werden. Von den etwa 40 möglichen Segmenten sind seit 1974 22 Segmente eingeführt worden, und 6 weitere Segmente sind in Bearbeitung. Mit ihnen hilft die EDV, die operationellen Hauptfunktionen des Departements Technik auf rationelle und einheitliche Art zu lösen. Sie liefert auch aktuellere, umfassendere und zuverlässigere Informationen als Grundlage für Entscheide, die zur besseren Wirtschaftlichkeit beitragen.



Fig. 5 Zustandskontrolle am Hauptfahrwerk der A 310

Bezüglich der vorgängig beschriebenen Funktionen werden mit dem MCS-System die technischen Beanstandungen erfasst und nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet. Dies liefert Informationen sowohl für die gezielte kurzfristige Störungsbehebung (Trouble Shooting) wie auch für die längerfristige Verfolgung des Störungsverhaltens als Grundlage zur Veranlassung geeigneter prinzipieller Massnahmen (Modifikationen, Verfahrensänderungen usw.).

Die Auflistung aller fälligen Arbeiten für die nächsten Maintenance-Standzeiten erfolgt ebenfalls mittels EDV, die auch die entsprechenden Arbeitspapiere erstellt und mit deren Hilfe die Erledigung der Arbeiten überwacht wird. Das als denkbare Weiterentwicklung erwähnte System, von massgeschneiderten Arbeitspaketem (dynamische Paketierung) wird nur mit entsprechender vermehrter EDV-Unterstützung realisiert werden können, da die individuelle Steuerung der einzelnen Arbeiten und ihrer benötigten Voraussetzungen sowie der Vergleich mit der Verfügbarkeitssituation und allfällige Optimierungen manuell nicht möglich sind.